

a 717634

C/3280

UNIVERSIDAD AUTONOMA

FACULTAD DE CIENCIAS

(SECCION QUIMICAS)

EVALUACION DEL EFECTO DE LA PRESION  
OSMOTICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA EN  
PLANTAS DE MAIZ Y TOMATE

Reg F.C- 7990



MADRID 1978

PEDRO AZUARA MOLINA

Mi profundo agradecimiento a la Dra. y Profesor de Investigación Dña. Pilar Sanchez Conde, por su inestimable labor de dirección y formación.

También quiero expresar mi agradecimiento, al Dr. D. Octavio Carpena Artés, Catedrático de Química Agrícola por codirigir y apadrinar esta Tesis.

De igual modo, mi sincera gratitud al Dr. y Profesor de Investigación D. Valentin Hernando Fernandez, por su apoyo para la realización de esta Tesis y revisión del manuscrito de la misma.

Mi reconocimiento al Dr. Campo Chavarri, por el planteamiento estadístico. A la Sección de Ecofisiología, por las facilidades para la utilización del osmómetro, así como a todo el Departamento de Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal del Instituto de Edafología y Biología Vegetal del C.S.I.C. por su inestimable ayuda.

Conchita Azuara

## INDICE GENERAL

	Página
INTRODUCCION . . . . .	1
1.1. Salinidad y sus causas . . . . .	2
1.2. Zonas salinas . . . . .	4
1.3. Teorias sobre los efectos de la salinidad . . . . .	6
1.4. Efectos específicos y osmóticos . . . . .	18
1.5. Empleo del polietilenglicol como agente osmótico . . . . .	22
1.6. Propiedades del polietilenglicol . . . . .	24
1.7. Impermeabilidad del sistema radicular al polietilenglicol . . . . .	32
1.8. Efectos tóxicos del polietilenglicol . . . . .	37
1.9. Sales más frecuentes en las soluciones de suelos salinos . . . . .	38
1.10. La salinidad y las plantas . . . . .	42
OBJETO DEL TRABAJO . . . . .	48
MATERIALES Y METODOS . . . . .	51
3.1 Plantas utilizadas en el estudio . . . . .	52
3.2 Características del invernadero . . . . .	52
3.3 Semilleros . . . . .	53
3.4 Soluciones nutritivas empleadas . . . . .	56
3.5 Sistema de cultivo . . . . .	59
3.6 Metodología analítica . . . . .	61
3.6.1 Analisis foliar . . . . .	61
3.6.2 Analisis de savia . . . . .	65
3.6.3 Analisis de polietilenglicol en la materia vegetal . . . . .	70



	Página
3.7 Elección del PEG-4.000 . . . . .	71
3.8 Elección del sistema de medida de la presión osmótica . . . . .	75
PARTE EXPERIMENTAL . . . . .	79
4.1 Sistema automático de cultivo hidropónico de agua con solución circulante . . . . .	80
4.1.1 Constituyentes del sistema de cul tivo . . . . .	83
4.1.2 Consideraciones sobre la solución nutritiva . . . . .	93
4.1.3 Control de la solución nutritiva	101
4.1.4 Normas para la utilización del sistema automático de cultivo . .	103
4.2 Analisis del PEG-4.000 en la mate- ria vegetal . . . . .	104
4.3 Analisis quimico del PEG-4.000 . . . . .	113
4.4 Medida de la presión osmotica . . . . .	117
4.4.1 Presión osmótica de la solución nutritiva con cloruro sódico o sulfato magnesico o PEG-4.000 . .	121
4.5 Planteamiento experimental . . . . .	128
4.6 Experimento con plantas de tomate . . .	131
4.6.1 Tratamiento con PEG-4.000.Respues ta de la planta a la absorción de PEG-4.000 . . . . .	131
4.6.2 Tratamiento de NaCl . . . . .	136
4.6.3 Repetición del experimento con to mates.Resultados y discusión . .	136
4.7 Experimentos con plantas de maíz . . .	154
4.8 Sintomas de toxicidad de PEG-4.000 en plantas de maíz . . . . .	156

	Página
4.9 Experimento de maíz con $MgSO_4$ . .	162
4.9.1 Fraccionamiento de la planta en diferentes partes para su análisis . . . . .	162
4.9.2 Contenido en PEG-4.000 de las plantas del tratamiento de PEG-4.000 . . . . .	162
4.9.3 Resultados y discusión del análisis foliar . . . . .	163
4.9.4 Resultados y discusión del análisis de savia . . . . .	186
4.10 Experimento de maíz con NaCl . .	212
4.10.1 Contenido en PEG-4.000 de las plantas del tratamiento de PEG-4.000 . . . . .	212
4.10.2 Resultados y discusión del análisis foliar . . . . .	212
4.10.3 Resultados y discusión del análisis de savia . . . . .	232
5. RESUMEN . . . . .	256
6. CONCLUSIONES . . . . .	262
7. BIBLIOGRAFIA . . . . .	269
8. ANEXO. ESTUDIO ESTADISTICO . . . . .	287

Abreviaturas utilizadas en el texto.

$M_{1MgSO_4}$	=	Maiz, tratamiento con sulfato magnesico.
$M_{1PEG}$	"	" " " PEG-4.000
$M_{2NaCl}$		cloruro sodico.
$M_{2PEG}$	-	PEG-4.000
$N_I$	=	nivel de presión osmótica.
$N_{II}$	"	" " " "
$N_{III}$		
Nam.	=	nitrogeno de aminoacidos.
Nm.	=	nitrogeno mineral.
Norg.	=	nitrogeno organico.
Np.	=	nitrogeno proteico.
NST	=	nitrogeno soluble total.
PEG-4.000	=	polietilenglicol de peso molecular 4.000
Pm	=	fosforo mineral.
Pp	=	fosforo proteico.
PST	=	fosforo soluble total.
$\Sigma A$	=	suma de aniones.
$\Sigma C$	=	suma de cationes.
SST	=	azufre soluble total.
$T_{NaCl}$	=	Tomate, tratamiento con cloruro sodico.
$T_{PEG}$	"	" " " PEG-4.000

# INTRODUCCIO

## 1.1 SALINIDAD Y SUS CAUSAS.

Durante el presente estado de intensificación y diversificación de la agricultura en todo el mundo, el problema de la fertilidad del suelo y de la nutrición vegetal tiene una particular importancia, debido a la absoluta necesidad de aportar nuevos conocimientos y tecnologías, para poder incorporar al uso agrícola grandes extensiones de suelo no cultivadas hasta hoy, o mejorar el rendimiento de zonas cultivadas.

Una gran fuente potencial para incrementar la superficie arable, especialmente bajo condiciones climáticas áridas y semiáridas, la representa los suelos salinos -- alcalinos G. SANDU(98).

HILGARD (45) fué el primer gran investigador de los suelos salinos, designándolos como aquellos cuyo contenido en sales solubles es suficiente para perjudicar el desarrollo de las cosechas.

La presencia de excesivas cantidades de sales -- solubles o de sodio de cambio, dentro del perfil del suelo, da lugar a los denominados suelos salinos o alcalinos, o -- bién, salino-alcalinos cuando poseen ambos factores. La -- cantidad y naturaleza de estos elementos, lleva consigo desde ligeras limitaciones para la producción de los cultivos, hasta convertir la tierra en estéril BARDAJI(3).

Estos suelos, que principalmente se encuentran localizados en las zonas áridas y semiáridas del mundo, deben su origen o bien a causas naturales, --minerales primarios ricos en sales, acumulación de ellas en zonas fisiográficamente bajas, depósitos marinos, etc.-- o bien a la influencia humana, --aguas salinas destinadas al riego, sobredosis de agua que hacen elevar las capas freáticas cargadas de sales, etc-- BLACK(7).

Como se acaba de indicar, un factor muy importante en la salinización, es el agua de riego, pues, todas las aguas de riego contienen cantidades variables de sales disueltas, por ello, la práctica del riego, necesaria para el desarrollo de los cultivos en zonas áridas y semiáridas, puede alterar marcadamente las propiedades de los suelos a que se aplique, así como a las especies vegetales que sobre ellos existan.

El uso continuado de algunas aguas de riego no adecuadas para este fin, ha provocado en innumerables ocasiones el abandono de suelos altamente productivos.

Los efectos principales que las aguas de riego originan en los suelos, pueden dividirse en dos grupos:

- a) Alteración de la concentración de la disolución del suelo, proceso conocido como "salinización".
- b) Modificación de la composición de los constituyentes disueltos y adsorbidos, "alcalinización"; especialmente

en el caso de aumento de la concentración del ión sodio  
CARO FERNANDEZ(20).

Los principales componentes catiónicos de las sales solubles en los suelos salinos són: el sodio, el calcio y el magnesio y los aniones mas significativos són: el sulfato, el cloruro y el bicarbonato. Entre los iónicos menos importantes se incluyen el potasio, el carbnato, el nitrato y otros en pequeñas cantidades. Dos constituyentes secundarios, que en ocasiones adquieren gran importancia por su toxicidad para las plantas, son el litio y el borato, PIÑERO(83).

## 1.2. ZONAS SALINAS.

Por tanto vemos, que la excesiva acumulación de sales solubles en suelos agrícolas, es un problema de gran trascendencia económica para los países que poseen extensas zonas de suelo agrícola con estas características, --- por ser un factor limitante para el desarrollo de las plantas y por tanto, influir negativamente sobre su rendimiento.

Este problema es importante en España, puesto - que según datos del Ministerio de Agricultura existen zonas extensas con problemas de salinidad, de las cuales mas de 300.000 Ha están cultivadas.

Destacan la zona de las Bárdenas con 87.000 Ha

en la Cuenca del Ebro, la zona regable del Flumen con 16.000 Has, así como el Delta del Ebro.

Con problemas debidos a la salinidad de las aguas, destacan la zona sur, con 29.000 Ha en la Cuenca del Guadalhorce y 14.000 Ha en Almería. Las marismas, entre ellas las del Guadalquivir con 144.000 Ha. La Cuenca del Segura con aproximadamente 50.000 Ha, los regadíos de Levante, Campo de Cartagena 35.000 Ha, y el Valle del Río Guadalestín con 25.000 Ha. ( Datos IRYDA 1.977).

En el resto de Europa, el problema de la salinidad es importante en las siguientes zonas:

- Parte europea de la URSS, que alcanza los 30 millones de Ha., resaltando Ucrania con 3.500.000 Ha. (según N.V. Rozov 1.962).
- Hungría con 720.000 Ha (según Arany 1.956).
- Rumanía con 400.000 Ha (según G. Obrejann, 1.959).
- Yugoslavia con 284.000 Ha (según Filipovski y Ciric 1.963 Miljkovic 1.963; Plamenac 1.968).
- Grecia con 150.000 Ha (según Cataconsinos 1.959, 1.963).

También en el resto del mundo, existen suelos con problemas de salinidad. En Asia hay grandes zonas con estos problemas en : China, India, Pakistán, Irán, Irák, Vietnam Mongolia y parte asiática de la URSS. En Africa ocurre lo mismo en: Egipto, Ciad, Argelia, Ghana, Libia, Mali, Marruecos, Nigeria, Sudán, Túnez. En América, algunos de los pai-



ses con problemas de salinidad son: USA, Canadá, Brasil, Uruguay, Perú, Venezuela. También en Australia, en el Oeste y Sudoeste tienen problemas de salinidad.

Como se desprende de la relación anterior, el problema es a nivel mundial, calculándose en aproximadamente 300.000.000 Ha, SANDU (93) la superficie de suelos salinos y alcalinos.

Por tanto, cualquier estudio que pueda aportar conocimientos respecto a los problemas de salinidad en relación con la producción vegetal, es de interés no sólo nacional sino internacional.

### 1.3. TEORIAS SOBRE LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD.

Se han propuesto tres teorías para explicar diversos aspectos nocivos de la salinidad del suelo; estas son: la de la disponibilidad de agua, la de la inhibición osmótica y la de la toxicidad específica.

1º Teoría de la disponibilidad de agua.— Según esta teoría las sales solubles en los suelos salinos aumenta la presión osmótica de la solución del suelo, disminuyendo el agua disponible para las plantas y éstas, sufren deficiencia hídrica.

Un experimento de EATON(30) apoya esta teoría. Dividió raíces de plantas de maíz en dos partes iguales y las colocó en dos soluciones nutritivas que tenían igual

proporción de las distintas sales, pero diferían en la concentración total. La presión osmótica en la solución mas - diluida, era de 0,3 bares y la de la solución mas concen--trada de 1,8 bares. Las plantas absorbieron 171 y 319 ml. de las soluciones que tenían presiones osmóticas de 1,8 y 0,3 bares, respectivamente y así demostró que cuando la - presión osmótica era mayor había una reducción marcada en la absorción de agua.

HAYWARD Y SPURR(42), cultivaron plantas de maíz en una solución nutritiva y luego las trasladaron a otras soluciones en las que la clase y concentración de solutos variaban. Efectuaron la medida de la velocidad con que las raíces absorbían el agua durante 5,5 ó 6 hrs., comenzando 30 minutos después de cambiar las plantas a las nuevas soluciones. Comprobaron, que la velocidad de absorción de - agua disminuía a medida que aumentaba la concentración de cada soluto y que era sustancialmente independiente de la naturaleza de los solutos, cuando las concentraciones se expresaban como presión osmótica de la solución, como se - observa en la fig. 1.

2º Teoría de la inhibición osmótica.- Según esta teoría, el exceso de solutos absorbidos del medio salino, es el res-ponsable de la inhibición en el crecimiento vegetal.

Entre los estudios publicados relacionados con esta teoría, citaremos los de SLATYER(100) y los de

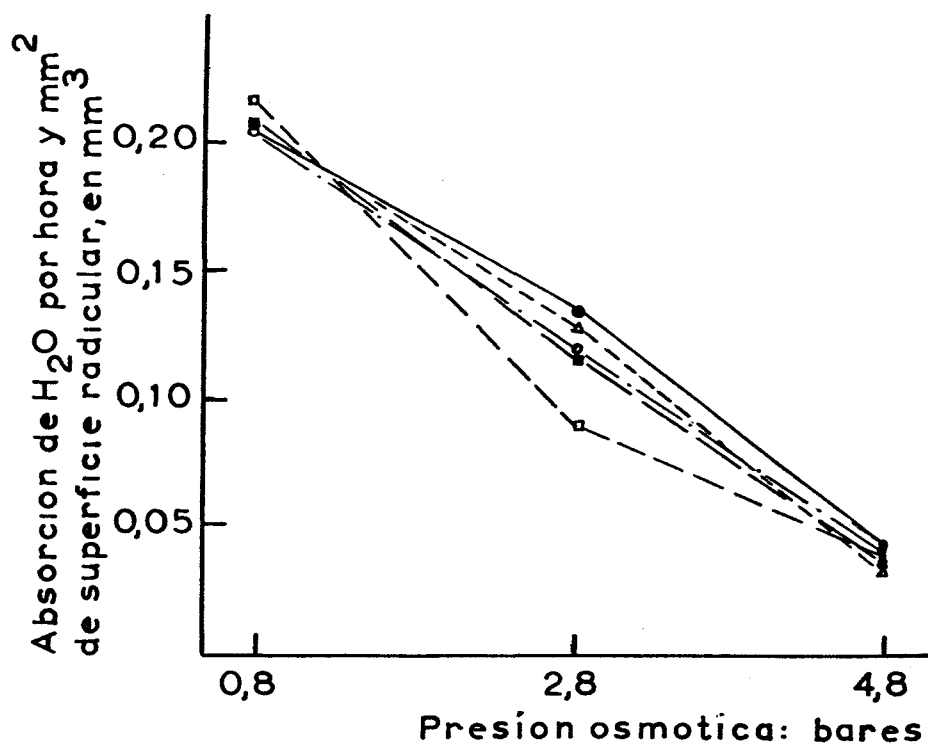


FIG. 1 - DISMINUCION DE LA PENETRACION DE AGUA EN LAS RAICES DE PLANTAS DE MAIZ EN FUNCION DE LA PRESION OSMOTICA DE LA SOLUCION, EN SOLUCIONES QUE CONTENIAN DISTINTOS TIPOS Y CONCENTRACIONES DE SOLUTOS.

■ manitol    □ sacarosa    Δ CaCl<sub>2</sub>  
 ○ NaCl       ● Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

BERNSTEIN(9) (10).

SLATYER planteó sus experiencias con plantas de tomate a dos niveles de presión osmótica, de aproximadamente 5 y 10 atm., que denomina tratamientos de baja y alta concentración. Esta presión fué conseguida añadiendo -- por separado a la solución nutritiva Hoagland y Arnon --  $\text{KNO}_3$  ( $K_1$ ,  $K_2$ );  $\text{NaCl}$  ( $N_1$ ,  $N_2$ ); manitol( $M_1$ ,  $M_2$ ) o glucosa -- ( $S_1$ ,  $S_2$ ).

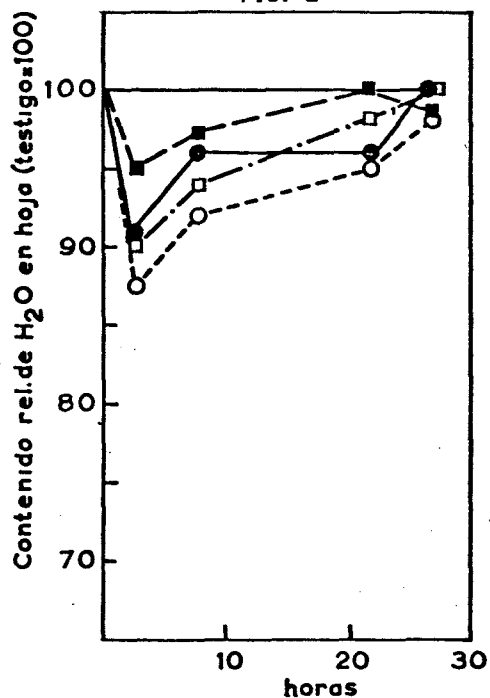
Las figuras 2 y 3, muestran como quedaron afectadas las ~~plantas de~~ tomate cultivadas en una solución nutritiva con presión osmótica de 0,7 bares, que luego fueron trasladadas, ( en lo que se representa como tiempo cero en la figura) a las soluciones con 5 y 10 atm. de presión osmótica.

En los primeros momentos, y en total concordancia con la teoría de la disponibilidad de agua, las plantas perdieron agua y se marchitaron, pero no obstante y -- en desacuerdo con esta teoría, en 28 horas las plantas se recuperaron del marchitamiento y recobraron su contenido inicial de agua, salvo en el caso  $M_2$ . Esto era presumible debido a la absorción de solutos y al consecuente incremento de la presión osmótica interna. En el tratamiento de manitol la recuperación era incompleta, lo cual sugiere una reducción en la entrada de soluto.

En las figuras 4 y 5, se observa gráficamente el

VARIACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD CON RESPECTO AL TIEMPO.

FIG. 2



■ K<sub>1</sub>(KNO<sub>3</sub>)

● N<sub>1</sub>(NaCl)

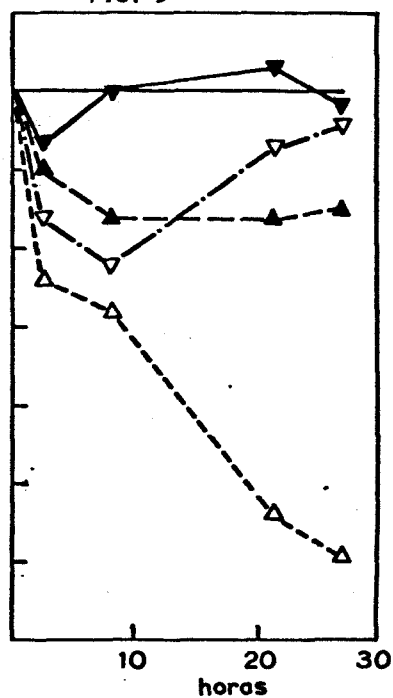
□ K<sub>2</sub>(KNO<sub>3</sub>)

○ N<sub>2</sub>(NaCl)

signos negros: p.a.= 5 bares

" blancos: p.o.=10'bares

FIG. 3



▼ S<sub>1</sub>(glucosa)

▲ M<sub>1</sub>(manitol)

▽ S<sub>2</sub>(glucosa)

△ M<sub>2</sub>(manitol)

PRESION OSMOTICA DE LA SAVIA CON RESPECTO AL TIEMPO.

FIG. 4

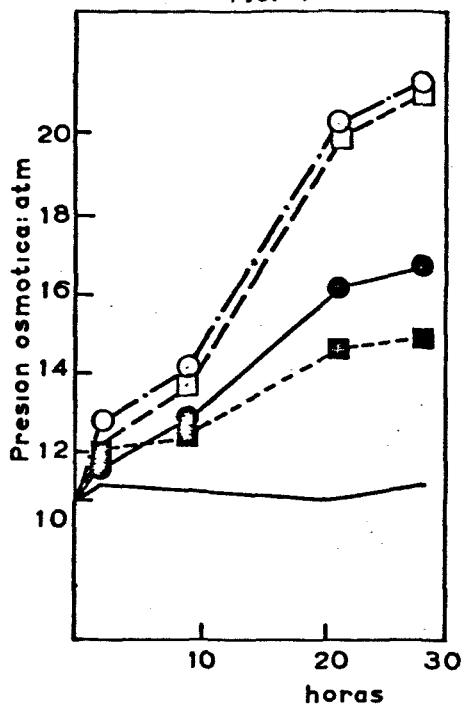
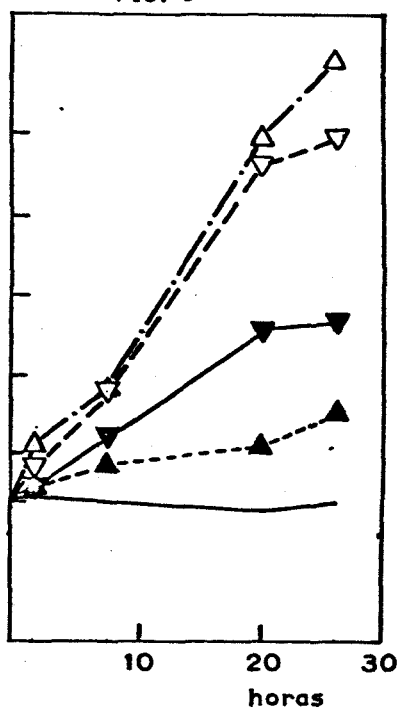


FIG. 5



■  $K_1(KNO_3)$

●  $N_1(NaCl)$

▼  $S_1(glucosa)$

▲  $M_1(manitol)$

□  $K_2(KNO_3)$

○  $N_2(NaCl)$

▽  $S_2(glucosa)$

△  $M_2(manitol)$

signos negros p.o.= 5 bares

" blancos p.o.=10 bares

aumento de la presión osmótica en la savia de la planta. Este aumento en la presión osmótica de la savia, es casi equivalente al aumento en 5 y 10 atm. en la presión osmótica de la solución nutritiva. Por tanto, la adaptación de las plantas al medio, dió como resultado el aumento en su presión osmótica interna, conservándose de este modo - el valor de la diferencia entre la presión osmótica interna de la planta y la presión osmótica de la solución, hecho que según la teoría de la disponibilidad de agua, sería el responsable de la reducción del agua disponible para las plantas.

BERNSTEIN (9) (10), llega al mismo resultado, - afirmando que el mismo proceso de ajuste osmótico es un - factor limitante para el crecimiento bajo condiciones salinas. Este ajuste osmótico de las células a salinidad, - depende en gran parte de un incremento en la acumulación de iones y también, de una substitución de iones monovalentes por polivalentes.

En trabajos realizados con plantas de judía y pimiento cultivadas durante 1 a 7 días en solución nutritiva añadiendo NaCl para incrementar la presión osmótica desde 1 a 6 bares, encuentra que los procesos que daban lugar a la regulación, eran una acumulación de K y un cambio en el contenido de los ácidos orgánicos , seguido por una acumulación de NaCl y una posible hidratación de algunos polí-

meros.

De las fig 4 y 5, se deduce que las presiones osmóticas de la savia se incrementan rápidamente en todos los tratamientos, excepto en el  $M_1$ , alcanzando niveles que exceden al control, en aproximadamente la misma cantidad en que se eleva la presión osmótica de la solución nutritiva base, en los tratamientos con los solutos.

Diversos procesos tales como: absorción de solutos osmóticamente activos, cambios metabólicos de sustancias ya existentes en la planta o reducción del contenido interno de agua de la misma, pueden producir un aumento de la presión osmótica interna de la planta.

Con el fin de evaluar la disminución del contenido interno de agua de la planta SLATYER (100), obtuvo una serie de datos por diferencia entre la presión osmótica que puede ser atribuida a cambios en el contenido -- interno de agua( medido como peso fresco, peso seco de la hoja) y la presión osmótica total, que vienen representadas en las figuras 6 y 7.

Con este procedimiento se demuestra que la acusada reducción en el contenido de agua en  $M_1$  y  $M_2$ , era la responsable de alrededor del 30 y 40% respectivamente del incremento total observado en la presión osmótica interna. En los demás tratamientos, la contribución debida a la reducción en el contenido de agua, era insignificante. Así



PRESION OSMOTICA DEBIDA A LOS SOLUTOS ABSORBIDOS CON RESPECTO  
AL TIEMPO

FIG.6

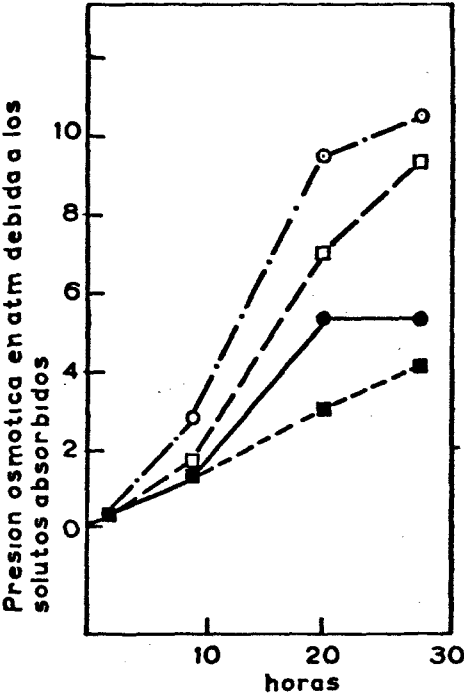
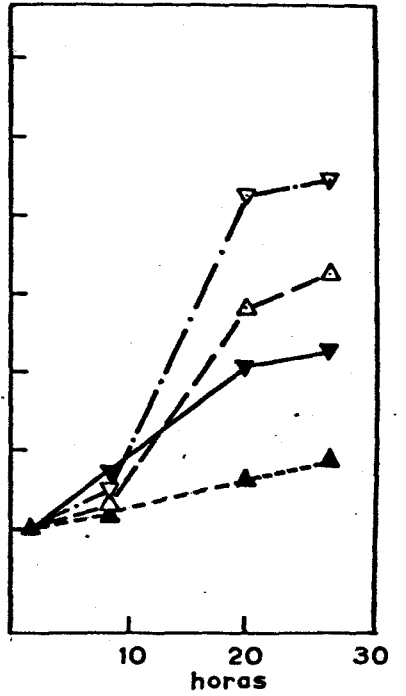


FIG.7



■  $K_1$  ( $KNO_3$ )

●  $N_1$  ( $NaCl$ )

▼  $S_1$  (glucosa)

▲  $M_1$  (manitol)

□  $K_2$  ( $KNO_3$ )

○  $N_2$  ( $NaCl$ )

▽  $S_2$  (glucosa)

△  $M_2$  (manitol)

signos negros: p.o.=5 bares

" blancos: p.o.=10 bares

pues, el aumento de presión osmótica interna debido al -- efecto de concentración no existe, salvo en los tratamientos  $M_1$  y  $M_2$ .

El marcado aumento inicial en la presión osmótica interna, ( debido a factores distintos a la deshidratación) en los tratamientos de  $NaCl$ ,  $KNO_3$  y glucosa, comparado con el aumento relativamente pequeño en el tratamiento de manitol, muestra que hubo una absorción mayor de solutos osmóticamente activos, en los tratamientos anteriores.

En la fig. nº 8, se representa la concentración de  $^{14}C$  y  $^{36}Cl$  (como un porcentaje de la concentración del isótopo en el substrato) en la hoja, lámina solamente y en los tallos de plantas sometidas a los tratamientos de alta concentración de manitol( $M_2$ ) o  $NaCl(N_2)$ .

Los datos de los isótopos marcados, corroboran los resultados indicados anteriormente. En el caso del  $N_2$ , la concentración de  $^{36}Cl$  en las hojas y tallos, era aproximadamente igual a la concentración en el substrato. En el caso de  $M_2$ , la absorción era mucho menor, y la concentración de  $^{14}C$  en las hojas de la planta, era solamente el 25,4% de la concentración de substrato y en los tallos -- era mucho menor, (el 8,3% de la concentración del substrato) que la del  $^{36}Cl$ . En ambos tratamientos, la concentración inicial se desarrollaba relativamente mas rápida en

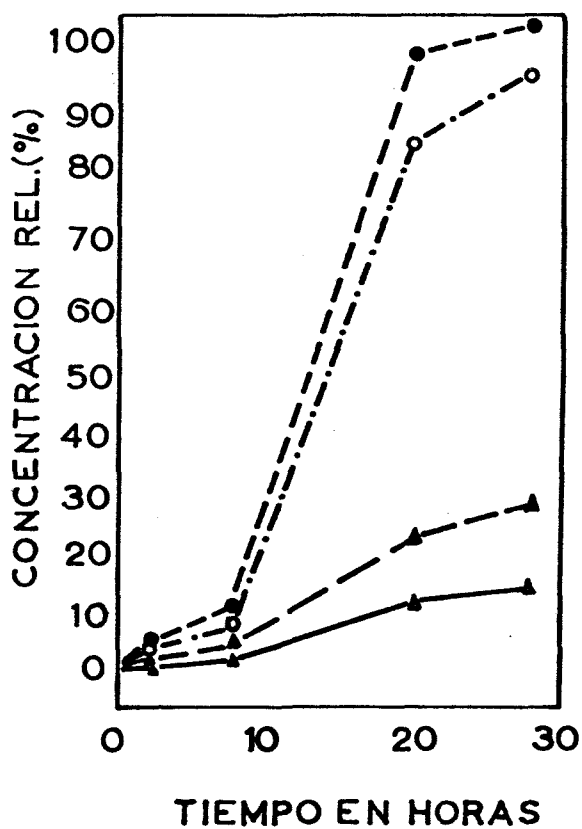


FIG. 8 - CONCENTRACIÓN EN HOJA Y TALLO  
 $^{14}\text{C}$  Y  $^{36}\text{Cl}$  CON RESPECTO AL TIEMPO.

$^{36}\text{Cl}$  hoja     $^{36}\text{Cl}$  tallo  
 $^{14}\text{C}$  hoja     $^{14}\text{C}$  tallo

las hojas que en los tallos.

En resumen, SLATYER concluye que en el ajuste de la presión osmótica para las plantas se produce una deshidratación seguida por una acumulación de solutos rápidamente absorbibles, cuando se presentan en la solución. La absorción de sales va seguida por una rehidratación de los tejidos.

Cuando el agente osmótico en la solución nutritiva no era absorbido por la planta (manitol), la segunda fase era gradual y resultaba de una acumulación de -- otros solutos de la solución, o cambios en la composición de la savia.

39 Teoría de la toxicidad específica.— Según esta teoría el efecto perjudicial de la salinidad del suelo sobre las - plantas, se debe a la toxicidad de uno o mas iones específicos de las sales que se hallan en exceso.

Si se atribuyen todos los efectos primarios y secundarios de distintos solutos a efectos osmóticos que pueden ser medidos en la solución interna, la relación - entre el rendimiento vegetal y la presión osmótica de la solución interna, sería independiente de la naturaleza - del soluto.

Sin embargo en experimentos realizados por - GAUCH y WADLEIGH (38) con plantas de guisante, sometidas a diferentes presiones osmóticas producidas con distintas

sales, obtuvieron los menores rendimientos con las aplicaciones de  $MgCl_2$  y  $MgSO_4$ , como queda representado en la fig. 9, demostrando que estas dos sales, ejercían efectos distintos de las otras tres y que por tanto, los efectos de los iones que predominan en las sales de los suelos salinos, no son necesariamente no específicas.

El experimento de HAYWARD y SPURR (42), aparentemente muestra unos efectos contrarios, pero esto era debido a que las medidas de la absorción, se hacían demasiado pronto, antes de que la planta hubiera podido tener respuesta a las diversas sales.

#### 1.4. EFECTOS ESPECIFICOS Y OSMOTICOS.

Como se desprende del estudio de estas tres teorías, la causa de la disminución producida en el crecimiento de las plantas, bajo condiciones salinas, se debe a dos factores: de un lado los efectos específicos de los iones de las sales que se encuentran en exceso en el medio radicular y de otro, los efectos osmóticos (no específicos con respecto a estos iones) BERNSTEIN y HAYMAR(12), LAGERJERFF y EAGLE (62).

Los efectos específicos, que como hemos visto son debidos normalmente a la concentración relativa con respecto de una a otra de las distintas especies iónicas presentes y con menor frecuencia al nivel absoluto de un

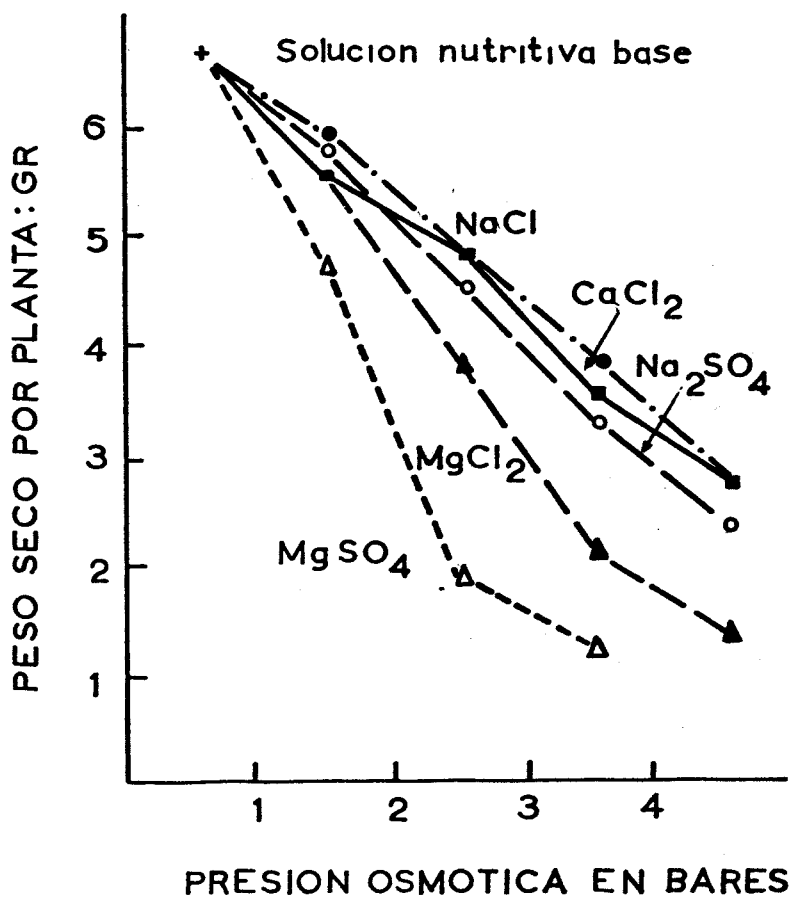


FIG. 9 - RENDIMIENTO DE PLANTAS DE JUDIA EN FUNCION DE LA PRESION OSMOTICA DE LA SOLUCION NUTRITIVA CON DIVERSAS SALES.

solo elemento, tienen una influencia esencialmente de - naturaleza fisiológica. Como efecto específico deben considerarse los cambios en la concentración osmótica efectuados dentro de las células, debidos a la variación de la concentración iónica relativa en el medio de cultivo a una presión osmótica constante. LABERGEFF y EAGLE(61).

Frecuentemente se han confundido los efectos - osmóticos con los específicos, porque los altos niveles totales de sales, normalmente van asociados a unas condiciones iónicas que son desequilibradas con respecto a las necesidades nutritivas de las plantas. Otros efectos específicos, tales como toxicidad debida a elementos traza, se han considerado frecuentemente, como efectos osmóticos (62).

En muchos estudios experimentales en soluciones nutritivas, dedicados a separar la influencia en el crecimiento de las plantas debido al efecto osmótico, del que es debido a los efectos específicos, para producir la presión osmótica de las soluciones se ha utilizado, o sales simples GAUCH y WADLEIGH(38)(39), o una mezcla de varias sales(72) MAGISTAD y col., o compuestos orgánicos(42)

Cuando concentraciones isoosmóticas de diferentes sales causan igual depresión en el crecimiento, son los efectos osmóticos los predominantes. También puede - ocurrir, aunque es mucho menos frecuente, que los efectos

específicos de las diferentes sales en la planta estudiada sean similares. Alguna variación en la respuesta de la planta a concentraciones isoosmóticas de diferentes sales indica la acción adicional del efecto específico que se pone de manifiesto en la fig. 9, donde se comparan los resultados de concentraciones isoosmóticas de diferentes sales; el  $MgCl_2$  y el  $MgSO_4$ , disminuyen el crecimiento de la judía mas que el  $NaCl$ ,  $Na_2SO_4$  o  $CaCl_2$ .

Por lo tanto, para llegar a conocer la reacción de la planta ante presiones osmóticas anormales para su desarrollo y de esta forma poder controlar su cultivo y aumentar su rendimiento, es necesario considerar y estudiar dos factores:

- a) Efecto osmótico: relacionado con la concentración total del soluto, independientemente de la naturaleza de las especies salinas.
- b) Efecto específico: que es debido a la concentración relativa de las especies iónicas presentes.

Para poder distinguir entre el efecto osmótico y el efecto específico, con respecto al crecimiento de las plantas, se requiere la adición al medio radicular de un compuesto que al mismo tiempo que aumenta la presión osmótica, sea inerte con respecto al metabolismo de la especie vegetal con la que se trabaje.



### 1.5. EMPLEO DEL POLIETILENGLICOL COMO AGENTE OSMOTICO.

Se han realizado numerosos experimentos con soluciones de concentraciones isoosmóticas de diferentes sales minerales y compuestos orgánicos. Se emplearon sustancias como polivinilpirrolidina, BERNSTEIN y PEARSON (13) y polivinilglicol(14). Posteriormente, LAGERWERFF (64), ha realizado un profundo estudio para encontrar un producto, que al usarlo como agente osmótico, no interfiera en el proceso normal del metabolismo vegetal y que tiene que cumplir una serie de condiciones con respecto a su solubilidad o miscibilidad, viscosidad y resistencia química y biológica.

Seleccionó 13 compuesto químicos, de los cuales la mayoría eran polímeros usados en la industria de plásticos, encontrando que los compuestos que cumplían con los requisitos mínimos eran: la dimetilsilicona, Elvanol 51-05, polivinilalcohol, polivinilpirrolidina NP-K30, y polietilenglicol (carbowax), con pesos moleculares de alrededor de 4.000, 6.000 y 20.000.

Después de haber encontrado estos productos de propiedades específicas, el siguiente paso fué, estudiar su efecto sobre el crecimiento de la planta.

Al efectuar ensayos de crecimiento de judía (*Phaseolus vulgaris*), cultivada en soluciones de estos compuestos, pudo comprobar, que todos ellos eran tóxicos

en mayor o menor grado. El orden en que se les citó en el párrafo anterior, coincide con una toxicidad que va de mayor a menor.

El análisis espectrográfico realizado en el caso de los polietilenglicol, indicaba la presencia de altas cantidades de aluminio y magnesio; por tanto, -- procedió a la purificación por diálisis de los de mas alto peso molecular, 6.000 y 20.000, junto con la polivinilpirrolidina NP-K30, o sea, los tres menos tóxicos, y después de realizar con estos productos purificados un nuevo experimento análogo al primero, encontró que la solución nutritiva adicionada de polietilenglicol 20.000 producía pesos frescos ligeramente superiores a los de las judías creciendo en solución isoosmótica -- conteniendo sólo iones, mientras que las plantas que crecían en solución nutritiva y polietilenglicol 6.000 o polivinilpirrolidina NP-K30 daban pesos frescos inferiores a las que crecían en soluciones isoosmóticas conteniendo sólo iones. Luego esto indicaba que, en el caso del polietilenglicol 20.000, se producía exclusivamente el efecto osmótico y parecía improbable que este producto ejerciera algún efecto fisiológico en la planta, lo cual confirmó LAGERWERFF en un trabajo posterior (62). APPLEGATE(4), coincide con LAGERWERFF sobre los efectos del polietilen-

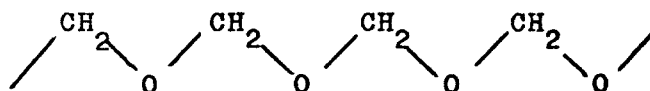
glicol, confirmando, que el polietilenglicol 4.000 puede ser usado para el control de la presión osmótica de la solución nutritiva.

Así pues, la aplicación del polietilenglicol como agente osmótico, empezó en los años sesenta con los trabajos de LAGERWERFF (62)(64) y otros autores, entre los que citamos a JAMES(51), que trabaja con polietilenglicol 400, 600, 1.000, 1.500 y 4.000 en planta de tomate no encontrando ningún efecto tóxico, y JACKSON (51), que empieza a trabajar con polietilenglicol 1.000, estudiando sus efectos sobre raíces de Avena sativa var. Victoria

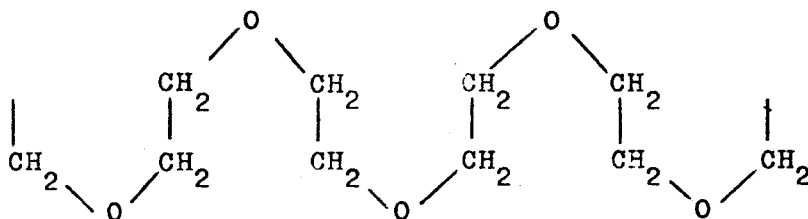
#### 1.6. PROPIEDADES DEL POLIETILENGLICOL.

El polietilenglicol, PEG, está constituido por polímeros de óxido de etileno, con la fórmula general:  $\text{HOCH}_2-(\text{CH}_2\text{OCH}_2)_n-\text{CH}_2\text{OH}$ , donde  $n$  representa el número de grupos de oxietileno. El estudio mediante rayos X ha demostrado que la cadena puede presentar dos estructuras diferentes: estructura PEG

a) Para cuando  $n \leq 10$ , se les atribuye una estructura en zig-zag



b) Para cuando  $n > 10$ , se les atribuye una estructura en meandro, debido a una concentración de la larga cadena



En ambas estructuras se observa que, en intervalos regulares, el oxígeno forma puentes de éter. De un análisis más preciso, debido a TODOKORO (105) y SPINGER y LANG(102), se deduce que la cadena de PEG en estado cristalino forma una espiral, ( $7_2$ -espirales de hélice).

Al contrario de lo que sucede con todos los altos polímeros, los PEG no son compuestos químicos completamente homogéneos, sino mezclas de polímeros homólogos, muy semejantes entre sí, ya que durante su obtención, las diferentes fases de su polimerización de las distintas moléculas, muestran fenómenos de interferencia.

Sobre la distribución del peso molecular de los tipos de PEG, el fraccionamiento cromatográfico en columna, da buena información en virtud de la diferente velocidad de migración en gel microporoso.

Al fraccionar, a través de Styragel, PEG 400, 1.500 y 4.000, disueltos en tetrahidrofurano, se obtuvo

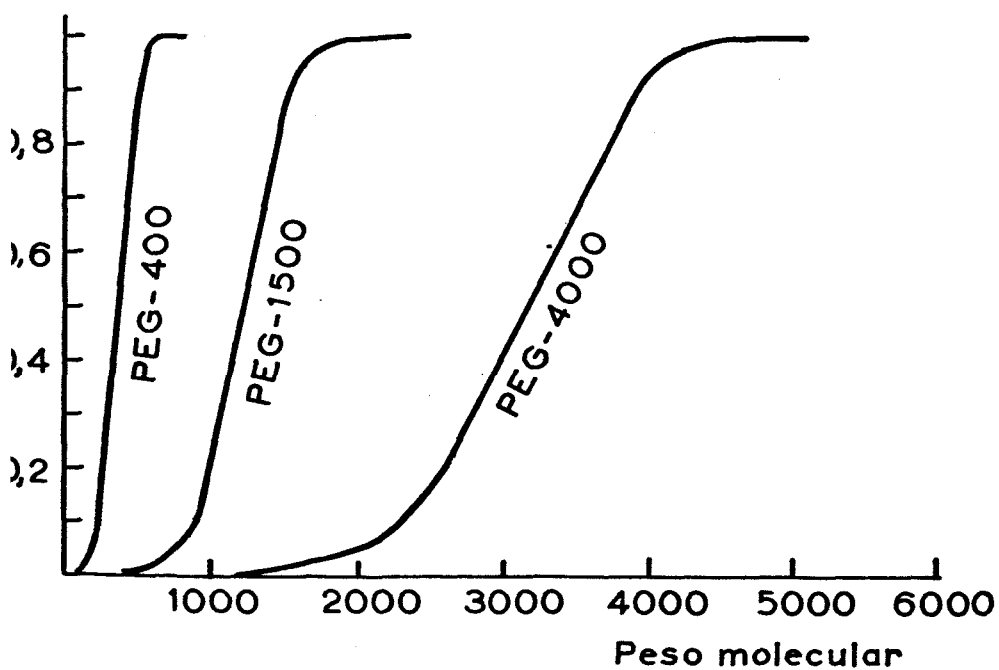
una distribución muy limitada. La fig. 10, reproduce las funciones integrales de la distribución del peso molecular de los tres tipos citados de PEG (85).

Una buena propiedad del PEG para usarlo como agente osmótico, es su excelente solubilidad en agua, con lo cual es fácil de preparar soluciones nutritivas de alto valor en presión osmótica. En la fig. 11, se representa el porcentaje en peso de PEG disuelto.

Otra cualidad es, que para su conservación no son necesarios grandes cuidados, debido a que, a partir del PEG-2.000, los polietilenglicoles, prácticamente no son higroscópicos, fig. nº 12.

Esta propiedad es muy importante, puesto que es necesaria bastante cantidad para montar los experimentos con PEG, pudiéndose adquirir el producto en envases de 50 Kgs., que son mas económicos y se pueden conservar para varios experimentos.

Es también necesario, considerar la solubilidad del oxígeno en las soluciones de PEG, ya que este punto es muy importante para el desarrollo de la planta. Hasta 1.975, no se había efectuado un estudio profundo sobre la solubilidad del oxígeno en soluciones de PEG, este estudio debido a MEXAL y col.(76), y en el han estudiado la solubilidad del oxígeno para soluciones de PEG de 4.000 y 6.000 de peso molecular.



10 - ANALISIS CROMATOGRAFICO DE PERMEACION EN GEL  
DE PEG 400, 1500 Y 4000.

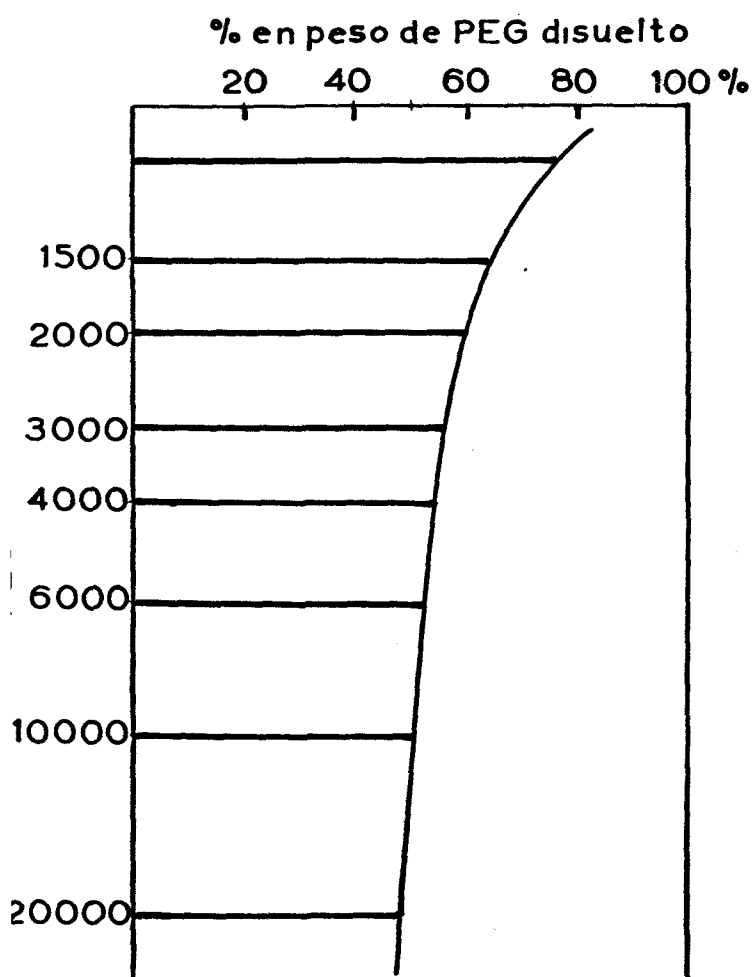


FIG. 11 - SOLUBILIDAD EN AGUA DE PEG DE DIFERENTES PESOS MOLECULARES.

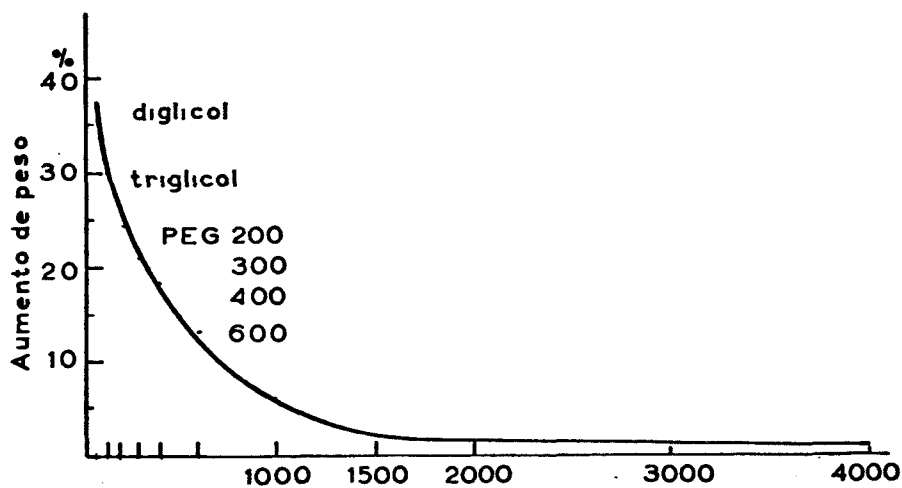


FIG. 12 - ABSORCION DE AGUA DE LOS PEG 200-4000, HASTA EL EQUILIBRIO, A 20°C Y 65% DE HUMEDAD RELATIVA.



En la fig. 13, se presenta la concentración en oxígeno de las soluciones acuosas de PEG, determinada por la técnica micro-Winkler. Se observa claramente una mayor solubilidad del oxígeno en las soluciones de PEG-4.000.

A partir del 5% de concentración de PEG en la solución, resulta que la solubilidad es inversamente proporcional a la concentración.

RESNIK (89), ha demostrado que el PEG, concretamente, el de peso molecular 6.000 para plantitas de maíz no influye en la absorción de fósforo aunque afecta a la traslocación de éste; pero pasadas 24 hrs., las plantas recuperan la intensidad de transpiración y también vuelven a una traslocación normal del fósforo. Comprueba por tanto, que el PEG tiene sólo un efecto osmótico.

Así pues, el PEG, debido a las propiedades que hemos visto, ha sido usado para aumentar la presión osmótica de la solución nutritiva con distintas finalidades, por JILLIANS (108), haciendo una evaluación del efecto - del PEG- 6.000 y PEG-20.000 en el control osmótico del - potencial de matriz de agua del suelo, PANDYA(80), para ver el efecto del PEG, al inducir un stress en la germinación de Brassica campestris, JAMES(52), para ver el efecto de períodos de stress osmótico en las relaciones de agua del pimiento, POSPISILOVA(84), para ver las relaciones de

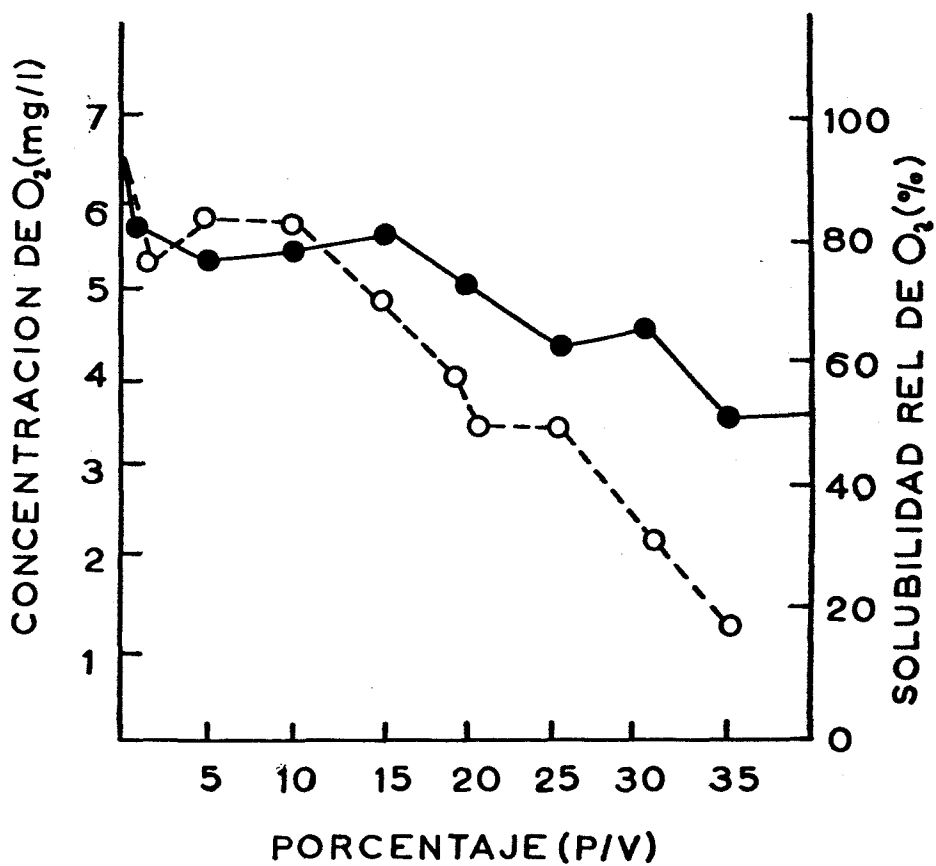


FIG. 13 - SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN SOLUCIONES DE PEG.

○ PEG-6000 ● PEG-4000

agua en hojas de judías, tratadas con soluciones de PEG, ALBERTE (1), que estudia el efecto de un stress de agua en la fotosíntesis, SAINT-CLAIR(93), estudia la germinación de sorgo bajo stress inducido por soluciones de PEG, SANDS(97), que usa soluciones de PEG-4.000 de concentraciones isoosmóticas a otras soluciones salinas y ve diferencias de comportamiento en Pino Radiata, LAWLOR (68), que estudia el efecto del sodio en el crecimiento y relaciones de agua de la caña de azúcar, utilizando soluciones de PEG-4.000, CHAMEL(22), que emplea PEG-1.000 para ver el efecto del potencial osmótico del medio nutritivo, sobre la penetración y migración del  $^{42}\text{K}$ , ERLANDSSON(35), que estudia para plantas de trigo el efecto de cambios en la presión osmótica de la solución nutritiva en la absorción de iones y de agua.

#### . IMPERMEABILIDAD DEL SISTEMA RADICULAR AL POLIETILENGLICOL.

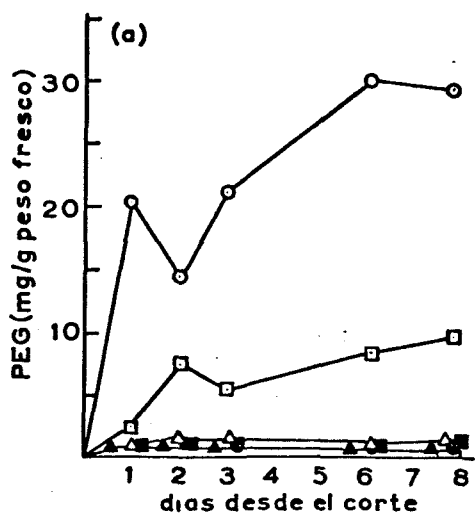
La impermeabilidad del sistema radicular al PEG no es total, por tanto, algunos autores utilizan el calificativo de soluto "no rápidamente absorbible", frente a otros, que utilizan el de "no absorbible". Ambas denominaciones tienen su parte de razón, pues si bien es cierto, que las raíces no son totalmente imperme-

meables al PEG, su absorción es muy lenta, así LAWLOR (67), ha comprobado, para plantas de maíz de 14 días, con raíces intactas, que no absorbe cantidades medibles de  $^{14}\text{C}$  PEG-4.000, al ser cultivadas durante dos semanas en 50 ml de solución nutritiva con 5  $\mu\text{Ci}$   $^{14}\text{C}$  - PEG.

La permeabilidad del sistema radicular al PEG, depende de dos factores: uno es la concentración del PEG en la solución nutritiva ya que aumenta la permeabilidad con la concentración y otro factor es la proporción en que las raíces estén dañadas, pues - cuanto mas dañadas estén mayor es la absorción.

Estos dos efectos, se ven muy claros en la fig. 14, donde LAWLOR(66), ha representado el contenido de PEG en mgr/gr peso fresco de la planta, con raíces dañadas(cortadas) y sin dañar sometidas a presión osmótica de 2 y 10 atm.(dos concentraciones de PEG en la solución nutritiva) de diferentes PEG.

Se observa, que la concentración del PEG en las plantas con raíces cortadas, es muy superior a la de las plantas con las raíces intactas, y también, que es mayor la concentración de PEG para las plantas con raíces intactas, creciendo en soluciones de mayor concentración en PEG.



(a) p.a. solución = 2 bares

(b) " " = 10 bares

PEG(raíces intactas) ▲ 20000 ■ 4000 ● 1000

PEG(raíces cortadas) △ 20000 □ 4000 ○ 1000

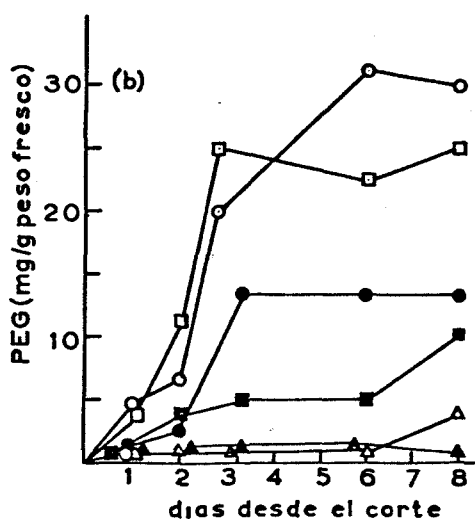


FIG. 14 - ENTRADA DE PEG DE DIFERENTE PESO MOLECULAR EN PLANTAS DE ALGODON CON RAICES INTACTAS Y CORTADAS.

El PEG-20.000, entra mucho mas lentamente a 10 bares que a 2 bares de presión osmótica, porque la transpiración disminuía bastante a 10 bares de presión osmótica.

En la fig. 15, se observa el efecto en la transpiración de la entrada de diversos PEG en las plantas según LAWLOR(67). El bloqueo de la senda de la transpiración, ha sido sugerido por ALLERUP y HANSEN(2), como la principal causa de la disminución de la transpiración de las hojas de judías en altas presiones osmóticas.

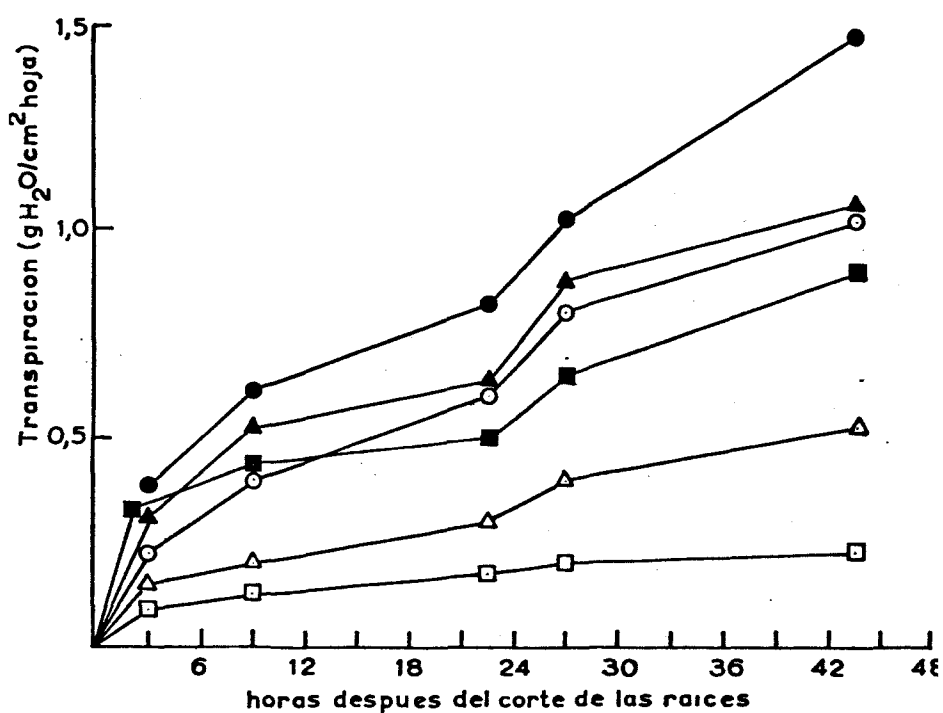


FIG. 15 - TRANSPIRACION DE PLANTAS DE ALGODON CON RAICES INTACTAS Y DAÑADAS CRECIENDO EN SOLUCION DE 2 BARES DE PRESION OSMOTICA DE PEG Y MANITOL.

Raíces cortadas: ○ control △ manitol □ PEG-4000

Raíces intactas: ● control ▲ manitol ■ PEG-4000

### 1.8. EFECTOS TOXICOS DEL POLIETILENGLICOL

La entrada de cantidades elevadas de PEG en las plantas tiene efectos tóxicos, causando marchitamiento, secándose los márgenes de las hojas, y posteriormente extendiéndose la necrosis en el mesofilo entre las venas. También, las plantas viejas o perennes, pueden cesar su crecimiento en PEG, porque, según LAWLOR(67), con la edad, se produce el natural derrumbamiento de las barreras a la permeabilidad.

Los efectos tóxicos del PEG, causantes de la necrosis, y la manera en que ésta se extiende, son característicos, no pudiendo ser reproducidos por agentes osmóticos o detergentes de bajo peso molecular, LAWLOR(67), con lo cual queda demostrado, que la tensión superficial de las soluciones de PEG, no era la causante de estos daños.

El PEG, según ha demostrado LAWLOR(67), no interviene ni afecta al metabolismo vegetal, pues la respiración de discos de 7 mm de diámetro de hojas maduras de algodón, flotando en soluciones de PEG de 2 bares de presión osmótica así lo indican, sugiriendo que el efecto del PEG es osmótico.



## 1.9. SALES MAS FRECUENTES EN LAS SOLUCIONES DE SUELOS SALINOS.

Para poder estudiar, con una amplia visión - del problema el desarrollo de la planta en un medio nutritivo con exceso de contenido en sales y evaluar se-  
paradamente la importancia del efecto osmótico y del -  
efecto específico de la sal en exceso (evaluación difí-  
cil de realizar, pues las plantas responden a ambos -  
efectos simultáneamente), es necesario comparar la reac-  
ción de la planta, en un medio salino y no salino, al  
mismo tiempo; es decir, en soluciones de concentracio-  
nes isoosmóticas obtenidas mediante la aplicación a es  
te medio nutritivo de diferentes sales o de un agente  
osmótico.

Aunque la respuesta de la planta a la salini-  
dad se debe en primer término, a la presión osmótica de  
la solución del suelo, los efectos específicos del ión,  
pueden ser importantes para algunos cultivos (BERNSTEIN  
(8)). Los iones causantes de la salinidad son:

Sodio. Generalmente es el componente catiónico mas desta-  
cado de la solución del suelo: Uno de los efectos mas --  
grandes del  $\text{Na}^+$ , es en la estructura del suelo. Asociándo-  
se con los coloides, cambia la agregación de las partícu-  
las del suelo, disminuyendo la aireación. Esta pobre --

aireación parece estar asociada con el incremento de la traslocación del  $\text{Na}^+$  a los tallos de las plantas, LUNT (71).

Según LAGERWERFF y HOLLAND, (63), la tolerancia de los cultivos al sodio, depende del nivel de salinidad, y la tolerancia para la salinidad, del nivel de sodio en el medio de cultivo.

Trabajando con plantas de judía y caña de azúcar HAMID y TALIBUDEEN (41), llegan a la conclusión de que el efecto de la salinidad, causada por sales de Na, cuando el agua no es factor limitante, está relacionada no solamente a la especie de la planta, sino también a sus estados de crecimiento.

Calcio. Cuando el  $\text{Ca}^{++}$  está asociado con el  $\text{SO}_4^-$  en una situación de salinidad, la concentración de  $\text{Ca}^{++}$  no puede ser muy alta, debido a la relativamente baja solubilidad del  $\text{CaSO}_4$ , que es aproximadamente de 25-30 meq/l. Sin embargo, cuando el  $\text{Ca}^{++}$  está asociado al  $\text{Cl}^-$ , su concentración puede ser muy alta. Según CHAPMAN (23), por un exceso de  $\text{Ca}^{++}$  se producen pocos síntomas específicos; estos van generalmente asociados, es decir son causados por el anión asociado al  $\text{Ca}^{++}$ , por ejemplo  $\text{Cl}^-$  o  $\text{SO}_4^-$ .

Magnesio. Puesto que, como  $\text{MgSO}_4$  y  $\text{MgCl}_2$  es altamente soluble, el  $\text{Mg}^{++}$  puede existir en concentraciones altas

en asociación con los iones  $\text{SO}_4^{=}$  o  $\text{Cl}^-$ . Se presentan con concentraciones tóxicas de  $\text{Mg}^{++}$  en ciertos suelos y localizaciones, particularmente en zonas semiáridas. También se puede presentar toxicidad de  $\text{Mg}^{++}$  al abonar con este elemento en suelos de bajo contenido en  $\text{Ca}^{++}$ , a menos que según EMBLENTON(35), sea aplicado  $\text{Ca}^{++}$  con el  $\text{Mg}^{++}$ .

Potasio. Aunque el  $\text{K}^+$  raramente contribuye significativamente a crear condiciones de salinidad, puede hacerlo si la roca madre es anormalmente alta en el contenido de  $\text{K}^+$  o existen movimientos subterráneos de agua a través de sales portadoras de potasio.

Casi sin excepción, según ULRICH y OHKI(106), el exceso de  $\text{K}^+$  en el suelo, procede de excesivas aplicaciones de éste elemento al abonar. El hecho de que el  $\text{K}^+$  se fija en el suelo en formas cambiables y no cambiables puede ser la explicación de los pocos casos que se dan, por toxicidad de  $\text{K}$ .

Cloruro. Las sales de  $\text{Cl}^-$  están frecuentemente implicadas en la salinidad del suelo. Las sales de  $\text{Cl}^-$  pueden estar, y frecuentemente lo están, asociadas con acumulaciones de  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{CO}_3^{=}$ .

Según EATON(31), los síntomas de toxicidad por un exceso de  $\text{Cl}^-$  son: coloración amarilla, coloración --

bronceada marginal y caída de la hoja.

La remolacha, judía, lino, algodón y tomate, son plantas altamente tolerantes con relación al  $\text{Cl}^-$ .

Sulfato. Como se ha indicado anteriormente, la concentración de  $\text{SO}_4^{=}$ , puede ser relativamente baja, si el anión está asociado con grandes cantidades de  $\text{Ca}^{++}$  ya que  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{SO}_4^{=}$ , tienden a precipitar como  $\text{Ca SO}_4$ , quedando solamente unos 25-30 meq/l de  $\text{SO}_4^{=}$  en solución EATON(32), pero asociado con  $\text{Na}^+$  o  $\text{Mg}^{+}$  la concentración de  $\text{SO}_4^{=}$  -- puede ser bastante alta.

Carbonato y Bicarbonato. Dependiendo del pH del medio, puede estar presente solamente el  $\text{HCO}_3^-$ , o solamente el  $\text{CO}_3^{=}$ , o haber varias proporciones de estos aniones PRATT (87). El  $\text{HCO}_3^-$  está presente en el suelo excepto para suelos altamente ácidos, mientras que el  $\text{CO}_3^{=}$  está presente en concentraciones medibles solamente en suelos con un pH aproximadamente de 8.5 o mas elevados.

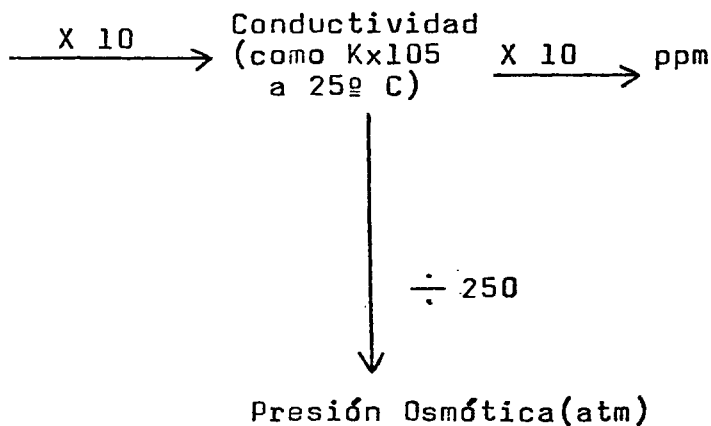
Nitrato. La toxicidad por un exceso de  $\text{NO}_3^-$ , sucede normalmente como resultado de una sobrefertilización y esto raramente ocurre, JONES(58).

Respecto a la forma de expresar la salinidad, existe una gran variabilidad, encontrándose trabajos donde se expresa como: porcentaje, molaridad o normalidad,

porcentaje de anión o catión, conductividad, o como - presión osmótica, bien calculada teóricamente, o bien medida experimentalmente. Este gran número de formas de expresar la salinidad, hace difícil comparar los resultados, por tanto, es muy útil recordar la siguiente relación, en orden a convertir una expresión de concentración en otra:

miliequivalentes

por litro



#### 1.10. LA SALINIDAD Y LAS PLANTAS.

En las aguas de riego salinas españolas, son normalmente abundantes el  $\text{MgSO}_4$  y el  $\text{NaCl}$ , razón por la cual empleamos estas dos sales para nuestro estudio, utilizando como plantas para realizar el estudio el maíz y el tomate.

El maíz es un cereal muy importante, tanto - por su grano, como por su utilización para forraje del ganado.

La influencia de la salinidad en el desarrollo de la planta de maíz, es bastante notable, así en la - fig. 16 que representa el rendimiento en función de la salinidad del suelo, expresada en conductividad, se observa una gran disminución en el rendimiento, con el - aumento de la salinidad.

También varios autores como PATEL y WALLACE(82), SHAW(104), MERCADO(74), etc., coinciden en la reducción en el rendimiento del maíz, con el aumento en la salinidad.

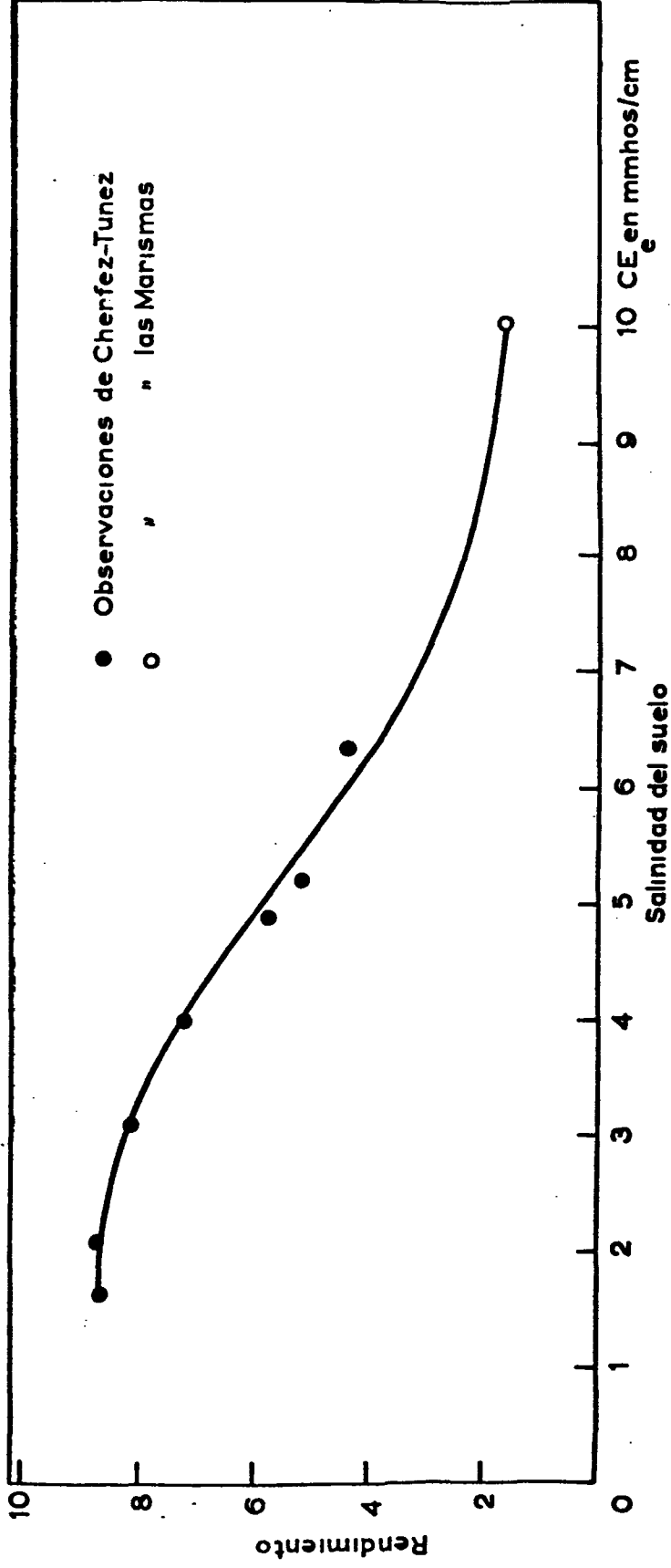
La salinidad también influye sobre la germinación, este efecto ha sido estudiado recientemente por FUJINUMA(37).























































En la fig. 17, donde está representada la resistencia de los cultivos a la salinidad, se observa, - que para el maíz, los márgenes para los cuales el cultivo se desarrolla y cubre gastos de explotación, son bastante mas amplios que aquellos para los cuales las producciones son rentables económicamente, siendo el maíz forrajero mas tolerante en este último caso.

Sin embargo, según los datos de BERNSTEIN(11),

# y la salinidad del suelo

Tm de grano/Ha



Maiz forrajero						
Maiz grano						
Pasto de Sudam						
Sorgo forrajer						
Alfalfa						
Habas forrajer						
Veza avena						
Cebaba grano						
						

6

5

4

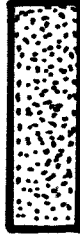
3

2

1

0

CE mmho/cm de la capa 0-25 cm



El cultivo se desarrolla y cubre gastos de explotacion

Las producciones son rentables economicamente



hasta una conductividad de 5 milímhos/cm a 25°C, no hay reducción del rendimiento en el maíz, hasta 6 milímhos/cm hay una reducción del 10% en el rendimiento, hasta 8 milímhos/cm la reducción es del 25% y hasta 9 milímhos/cm es del 50%.

La diferencia en los resultados, puede explicarse por las diferentes sales que causen la salinidad en las zonas observadas y sometidas a estudio.

En los experimentos realizados por KEARNEY y HARTER(61), obtuvo el grado de toxicidad de diferentes sales, para diversas plantas, Tabla nº 1, usando las sales típicas de los suelos salinos y cultivando plantas de diferente grado de tolerancia a la sal.

El grado de toxicidad de la sal con respecto a la planta, disminuye en cada columna al descender en ésta. Estos resultados, se obtuvieron en experimentos realizados utilizando la solución nutritiva, adicionada con cada una de las sales que aparecen en la tabla nº 1.

TABLA nº 1. Toxicidad de diferentes sales en plantas distintas.

Alfalfa	Maíz	Algodón	Caña de azúcar
$MgSO_4$	$Na_2CO_3$	$MgSO_4$	$MgSO_4$
$MgCl_2$	$NaCl$	$MgCl_2$	$MgCl_2$
$Na_2CO_3$	$NaHCO_3$	$Na_2CO_3$	$Na_2CO_3$
$Na_2SO_4$	$Na_2SO_4$	$Na_2SO_4$	$NaHCO_3$
$NaCl$	$MgCl_2$	$NaCl$	$Na_2SO_4$
$NaHCO_3$	$MgSO_4$	$NaHCO_3$	$NaCl$

O B J E T O D E L T R A B A J O

## 2. OBJETO DEL TRABAJO.

El objeto del presente trabajo, ha sido evaluar los efectos que sobre las plantas tienen las presiones osmóticas mas altas que las normales.

Para illegar a conocer la reacción de la planta antes estas presiones osmóticas anormales para su -desarrollo, es necesario considerar dos factores:

a) Efecto osmótico: relacionado con la concentración total de soluto, independientemente de las especies -salinas.

b) Efecto específico de la sal: debido a la concentración relativa de las especies iónicas presentes.

Para poder distinguir entre efecto osmótico y efecto específico de las sales respecto a su incidencia en las plantas, se requiere la adición al medio --radicular de un compuesto, que al mismo tiempo que aumente la presión osmótica, sea inerte con respecto al metabolismo de la especie con la que se trabaja.

Es pues necesario, para poder diferenciar ambos efectos, utilizar soluciones de concentraciones isoosmóticas obtenidas mediante la aplicación al me-diu nutritivo de diferentes sales o de un agente osmó-tico.

Este estudio ha sido realizado, utilizando como sales para aumentar la presión osmótica del medio nutritivo, cloruro sódico o sulfato magnésico, por ser sales normalmente abundantes en las aguas de riego -- salinas de España, y como agente osmótico se ha utilizado el PEG-4.000 (polietilenglicol de peso molecular aproximado de 4.000). Como plantas indicadoras han sido utilizadas el tomate y el maíz; efectuándose su -- análisis foliar y de savia, con objeto de evaluar su respuesta al aumento de la presión osmótica del medio nutritivo.

### 3. M A T E R I A L E S Y M E T O D O S

### 3.1. PLANTAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.

Las experiencias se han realizado utilizando planta de tomate(*Lycopersicum esculentum*), variedad Marglobe, y planta de maíz(*Zea Mays*), variedad INIA 8302.

### 3.2. CARACTERISTICAS DEL INVERNADERO.

Las experiencias se han realizado en un invernadero, dotado de los siguientes dispositivos:

- Elementos de calefacción.
- Termostatos de ambiente.
- Conductos de aire húmedo.
- Higrómetro.
- Ventiladores.
- Aire comprimido purificado.
- Agua desionizada.
- Tanques de soluciones nutritivas.

La temperatura se ha procurado adaptar a la que corresponde al período vegetativo de la planta utilizada.

El mantenimiento de estas temperaturas - en el interior del invernadero, se ha podido conseguir por medio de la calefacción o mediante ventiladores que introducen aire exterior, o bien aire húmedo.

Otro punto a tener en cuenta, es el control de la humedad en el interior del invernadero, introduciendo aire húmedo.

La medida de la temperatura y de la humedad, se registran con un termohidrógrafo.

Para la preparación de las soluciones nutritivas empleadas en los experimentos, es necesario el empleo de agua desionizada, utilizándose para ello resinas cambiadoras de iones.

### 3. SEMILLEROS.

En los experimentos realizados con tomate, el medio utilizado fué arena de cuarzo lavada al ácido y libre de elementos.

La germinación se realizó en bandejas de material plástico, con el fondo perforado, que contenían arena de cuarzo lavada. El tamaño de las partículas según HEWITT(44), debe estar comprendido entre 0,5 y 2mm consiguiéndose de este modo una relación mas favorable entre capacidades de aire y agua.

Las semillas de tomate, se sembraron sobre el lecho de arena cuya profundidad era de unos 10 cm.

El riego se efectuó por capilaridad, los primeros días con agua desionizada y después de la -



nascencia, se utilizó solución nutritiva diez veces diluida.

El sistema proporciona excelentes resultados y debido a la alta capacidad germinativa de las semillas y a las pequeñas diferencias de peso entre las mismas, se han conseguido plantas de tamaño muy uniforme.

Cuando las plantitas de tomate han alcanzado una altura entre 5 y 10 cm., con tres o cuatro hojas cada una, el semillero está en condiciones para realizar el trasplante a los tiestos de cultivo definitivo.

En los experimentos con planta de maíz híbrido, el medio utilizado fué agua desionizada.

La germinación se efectuó en bandejas de material plástico, con una profundidad de aproximadamente 10 cm. de agua desionizada y mediante un tubo de vidrio se introduce aire en el agua desionizada para su perfecta aireación.

Estas bandejas van cubiertas de una malla de material plástico que sirve de soporte a las semillas. Las bandejas de germinación se colocan en una cámara con temperatura y humedad controlada, siendo la temperatura de 28°C y la humedad relativa del 90%.

Una vez las semillas han germinado son --

trasplantadas, cuando tienen aproximadamente 10 cm. de altura, a los tiestos de cultivo definitivos, con la solución nutritiva normal.

Este sistema de germinación da buenos resultados, consiguiendo plantitas muy uniformes

## SOLUCIONES NUTRITIVAS EMPLEADAS.

La solución nutritiva base, utilizada en los experimentos con planta de tomate, es la de HOAGLAND y SNYDER (47), que se indica en la tabla nº 2

TABLA nº 2. Contenido en macroelementos de la solución nutritiva base.

Sales	g/l	meq./l					
		K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>
KNO <sub>3</sub>	0.51	5.0	-	-	5.0	-	-
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0.82		10.0		10.0		
KPO <sub>4</sub> H <sub>2</sub>	0.136	1.0					3.0
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.49			4.0		4.0	
Total		6.0	10.0	4.0	15.0	4.0	3.0

## Microelementos:

$H_3BO_3$	.....2.86 mg/l
$MnCl_2 \cdot 4H_2O$	.....1.81 "
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	.....0.08 "
$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	.....0.22 "
$MoO_3$	.....0.08 "

La solución de hierro se preparó con ácido tartárico ( $HOOC-(CH_2OH)_2-COOH$ ) y  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , tomándose 0.6 ml. por cada litro de solución nutritiva, de una solución al 0.4% de ácido tartárico y - al 0,5% de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ .

A esta solución nutritiva base, que se utilizó en los experimentos de tomate para el control, se le añadió el NaCl o el PEG-4.000 necesarios, para obtener los niveles de presión osmótica aplicados a estos tratamientos.

En la tabla nº 3, quedan reseñadas las cantidades de NaCl o PEG-4.000 que se añaden.

TABLA n<sup>o</sup> 3. Gramos de NaCl o PEG-4.000 añadidos a la solución nutritiva base para obtener soluciones de diferentes presiones osmóticas.

$\frac{\text{g./NaCl}}{\text{en l.sol.nta}}$	meq.Na/l	presión osmótica (atm)	$\frac{\text{g.PEG-4.000}}{\text{en l.sol.nta}}$
3.3	56.4	3.8	121.6
5.6	95.7	5.0	181.4
8.0	136.7	7.0	230.4

Para los experimentos con maíz híbrido se utilizó como solución base la de HOAGLAND y SNYDER(47) ligeramente modificada en los macroelementos. En la tabla n<sup>o</sup> 4 se indica su contenido.

TABLA n<sup>o</sup> 4. Composición en macroelementos de la solución nutritiva base para maíz.

Sales	g/l	meq./l					
		$K^{+}$	$Ca^{++}$	$Mg^{++}$	$NO_3^{-}$	$SO_4^{=}$	PO <sub>4</sub>
$KNO_3$	0.76	7.5	-	-	7.5	-	-
$Ca(NO_3)_2$	1.23		15.0		15.0		
$KPO_4H_2$	0.204	1.5					4.
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	1.22			10.0		10.0	-
Total		9.0	15.0	10.0	22.5	10.0	4.

La composición en microelementos, es la misma que la utilizada para los experimentos con tomate.

A esta solución nutritiva base, que se utilizó para el control de los experimentos con maíz híbrido, se añadió NaCl,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  o PEG-4.000 en las cantidades necesarias, tabla nº 5,

TABLA nº 5. Concentraciones de sulfato magnésico, cloruro sódico o PEG-4.000, necesarios para los niveles de presión osmótica del experimento.

Compuesto	Concentración	presión osmótica (atm).		
		2.0	3.5	5.0
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	gr/l	16.0	30.0	44.5
	meq./l	129.9	243.6	361.3
NaCl	gr/l	2.0	3.8	5.6
	meq./l	34.2	64.9	95.7
PEG-4.000	gr/en l	86.0	138.0	180.0

para alcanzar los niveles de presión osmótica, aplicados en esos experimentos.

#### SISTEMA DE CULTIVO.

Una vez que las plantitas de maíz o de tomate han crecido lo suficiente en el semillero, son trasplan-

tadas a los tiestos de cultivo, de un sistema automático de cultivo hidropónico de agua diseñado por nosotros, aplicándose la solución nutritiva base hasta que la planta adquiere el desarrollo necesario para responder al --tratamiento y tener material suficiente para su análisis. El tratamiento se aplica cuando las plantas de tomate o maíz tienen seis hojas.

## 5. METODOLOGIA ANALITICA.

### 3.6.1. ANALISIS FOLIAR.

En la tabla nº 6, se indican, esquemáticamente, los distintos pasos que se siguen desde la toma de muestra, hasta el análisis de los diferentes elementos que se determinan.

#### Determinación de elementos minerales.

Una vez pesada en fresco la materia vegetal, se lava con agua que contenga una pequeña cantidad de detergente, esto se realiza solamente si es necesario. Se eliminan los restos de detergente y se secan con pa pel de filtro.

Se introduce a continuación la materia vegetal, en una estufa con circulación de aire a 70-80° C durante 24 horas.

A continuación, se efectúa el peso en seco y se procede a la trituración de la muestra con un triturador Culatti.

La mineralización de la muestra, se realiza por vía húmeda, con una mezcla de  $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ , PIPER(83). De esta mineralización, obtenemos una solución, a partir de la cual se puede determinar P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn,



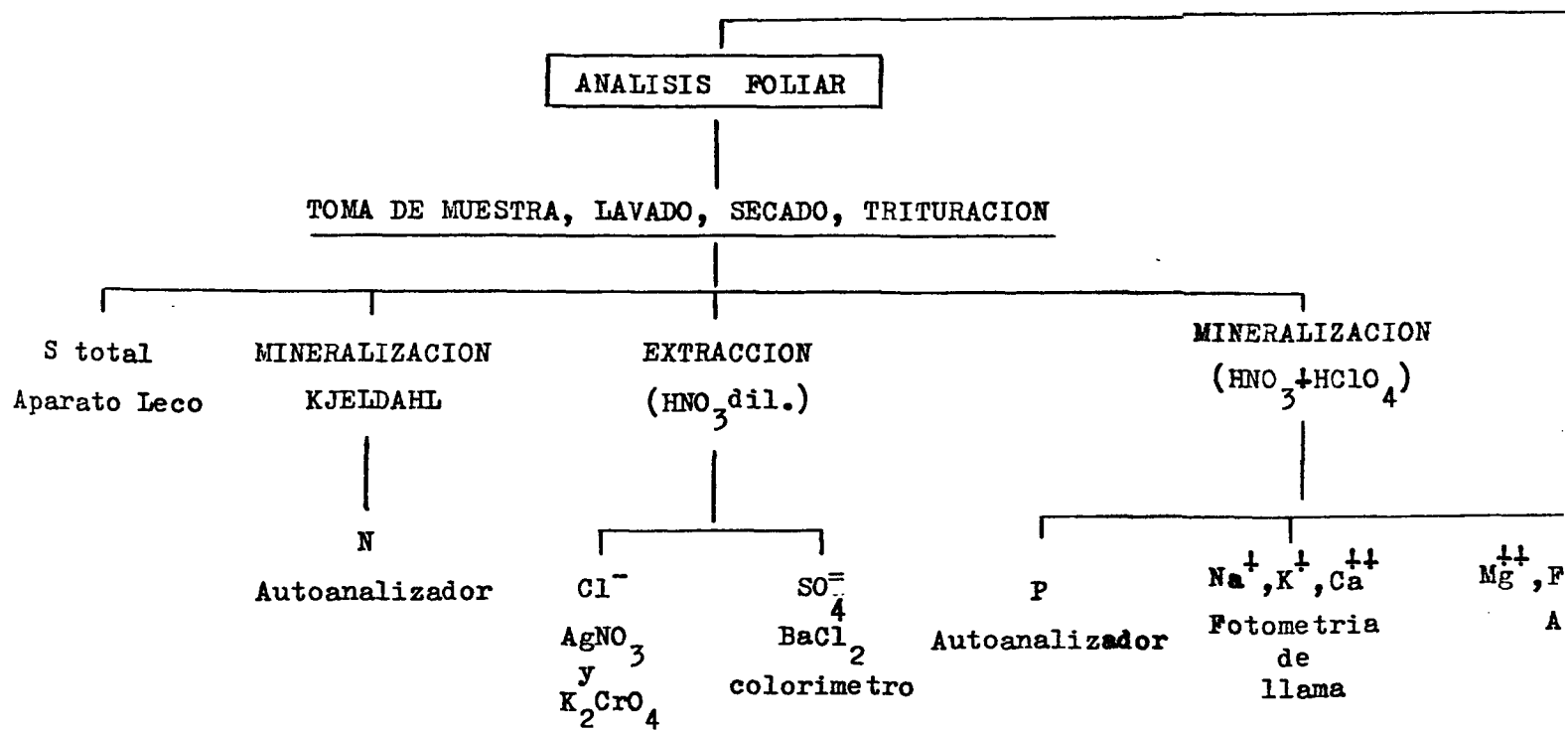
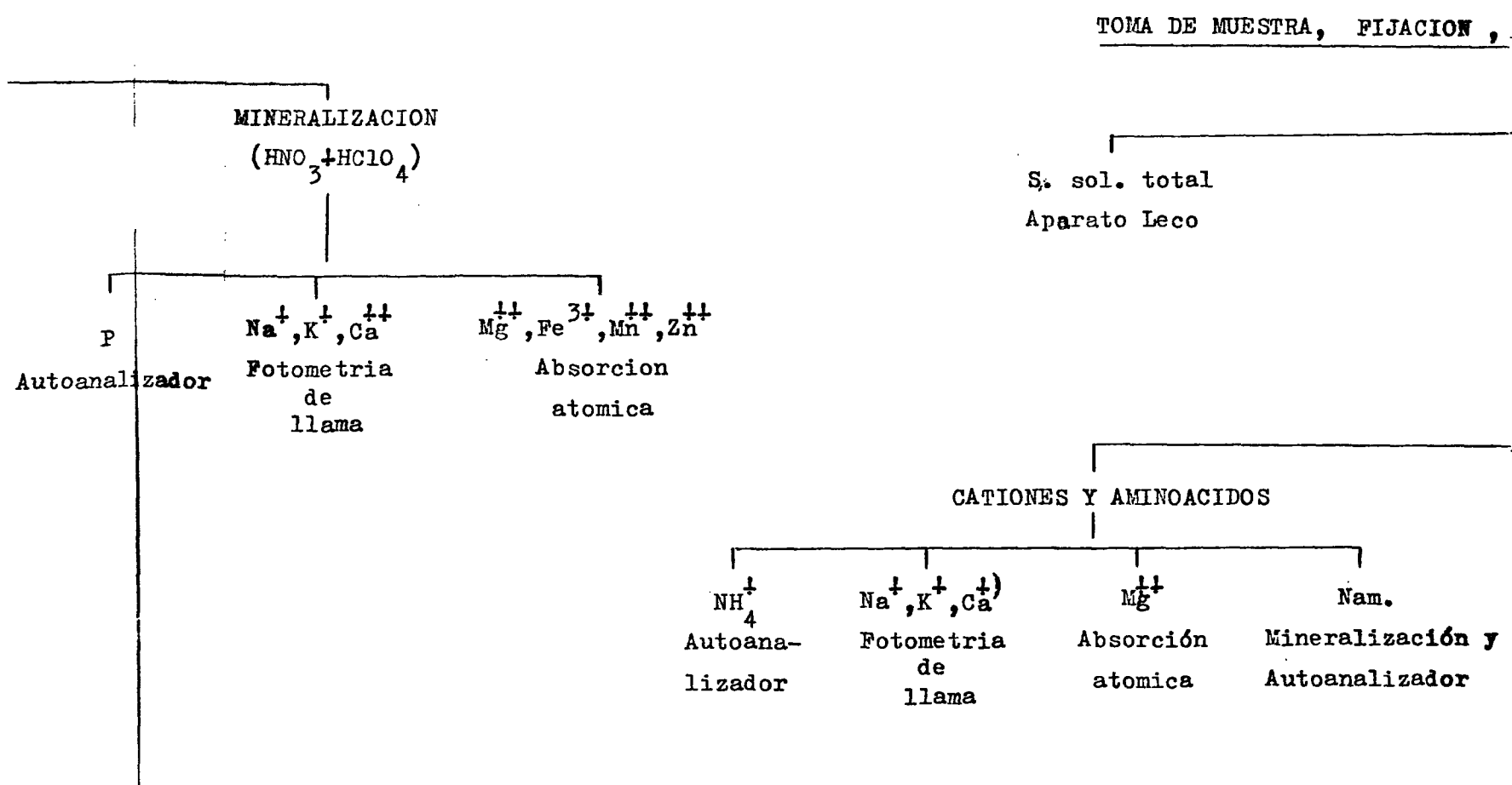


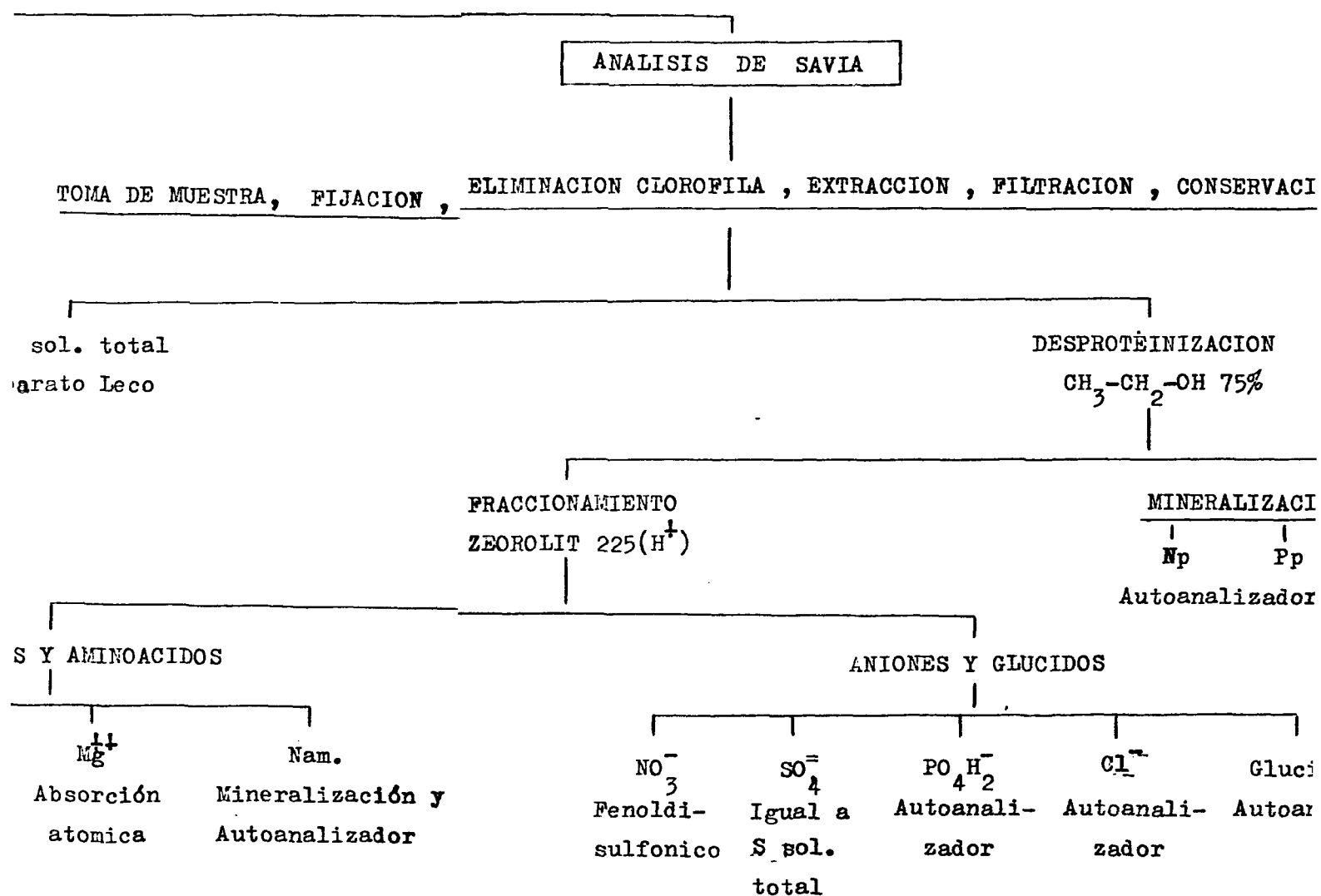
Tabla nº6. Esquema de operaciones analíticas.

M A T E R I A   V E G E T A L



analíticas.

A L



y Zn. El N, se determina por el procedimiento Kjeldahl mineralizando 0.1 g de muestra con  $H_2SO_4$  y mezcla catalizadora (0.5 g. de una mezcla de 200 g. de  $K_2SO_4$  y de 10 g. de Se en polvo), CADAHIA(18), de esta mineralización obtenemos una solución en la cual se puede determinar el  $N(NH_4)$ .

#### Potasio, calcio y sodio.

Se determinan mediante fotometría de llama (74).

#### Magnesio, hierro, manganeso y zinc.

Se determinan mediante espectrofotometría de absorción atómica. Métodos del Comité Inter-Institutos(74).

#### Fósforo.

El método analítico se base en el color desarrollado por la reducción del fosfomolibdato amónico con ácido ascórbico(16). La medida se realiza en un sistema autoanalizador Technicon, basada en la metodología propuesta por CADAHIA(18).

### Nitrógeno.

El método analítico se basa en el desarrollo de color producido según el método de BERTHELOT(26) y DIDIER(29). La medida se realiza en un sistema autoanalizador Technicon, basada en la metodología propuesta por CADAHIA(18).

### Cloruros.

Se determinan por volumetría, basada en la reacción entre el Cl y el  $\text{AgNO}_3$ , empleando  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  como indicador.

### Sulfatos.

El método analítico, se funda en la precipitación de los sulfatos con reactivo de  $\text{BaCl}_2$ , manteniéndose el precipitado en suspensión con un agente tensioactivo, para medir la turbidez en un espectrofotómetro de absorción.

### Azufre total.

La determinación se funda en una oxidación - del azufre total de la muestra, en Horno Leco y su posterior valoración, como se indica en la tabla nº 6,

según la metodología propuesta por CADAHIA(17).

### 3.6.2. ANALISIS DE SAVIA.

En la tabla nº 6, se indican, esquemáticamente, los distintos pasos que se siguen, desde la toma de la muestra, hasta la determinación de los diferentes -- elementos y fracciones.

El esquema, está basado en las metodologías propuestas por HERNANDO y CADAHIA(43), ampliadas con la utilización de autoanalizadores.

#### Toma de muestra y estabilización de la misma.

Para la planta de maíz, se tomó separadamente los dos primeros entrenudos, y el resto de la planta.

Para ROUTCHENKO(91), durante el período de desarrollo de 4 a 6 hojas, el órgano de referencia son los dos primeros entrenudos y a partir del momento en que la planta posee de 10-12 hojas y hasta el estado de aparición del panículo macho, el órgano de referencia está constituido por la mitad basal de la sexta hoja. Como el desarrollo de nuestras plantas estaba próximo al primer caso, se tomaron los dos primeros entrenudos.

Para que los resultados sean comparativos con fines de investigación, las muestras deben ser tomadas, para un experimento, durante un intervalo de tiempo, a lo largo del día, y a ser posible con iluminación semejante. Las muestras vegetales se fraccionan a pedazos de 0.5 a 1 cm., sobre un frasco con éter etílico a  $-60^{\circ}\text{C}$  ó  $-70^{\circ}\text{C}$  (temperatura que alcanza el éter introducido en nieve carbónica). A continuación se guardan los frascos en un congelador.

#### Extracción, filtración y conservación.

Se procede a la extracción de la savia en vitrina, mediante prensado de la muestra, debiendo operarse entre 0 y  $5^{\circ}\text{C}$ . La separación del éter del jugo conductor, se realiza utilizando un embudo de separación, una vez separada la savia, se filtra y se conserva en congelador a  $-20^{\circ}\text{C}$ .

#### Desproteínización.

Se precipitan las proteínas con alcohol absoluto desionizado. Se separan mediante centrifugación. La fracción proteica se purifica lavando dos veces con alcohol.

### Fraccionamiento.

Los líquidos procedentes de la centrifugación se pasan por una resina catiónica y fuertemente sulfonada, Zerolit 225 ( $H^+$ ). El líquido que percola, contiene aniones, azúcares y ácidos orgánicos. Los cationes y aminoácidos, se recogen pasando a través de la resina HCL 4N.

### Determinación de elementos minerales y orgánicos.

#### Nitrógeno nítrico. $N(NO_3^-)$

El principio del método, se basa en el color desarrollado en medio ligeramente básico, entre el ión  $NO_3^-$  y un reactivo de ácido feroldisulfónico. Si la concentración de  $Cl^-$  es superior a 1.000 mg/l. en savia, se hace necesario su eliminación previa, según el método descrito por HERNANDO y CADAHIA (43).

#### Nitrógeno protéico. $N_p$

Se determina en la solución del mineralizado del depósito protéico. Se utiliza para su valoración un sistema autoanlizador Technicon, según PIÑERO(83).



Nitrógeno de aminoácidos. Nam.

Se realiza esta valoración en el mineralizado de la solución de cationes y mediante sistema autoanalizador como en  $N_p$ .

Nitrógeno amoniacal.  $N(NH_4^+)$ .

Se determina esta fracción en la solución de cationes, de manera análoga al  $N_p$ .

Fósforo mineral.  $P(H_2PO_4^-)$ 

Se determina esta fracción en la solución de aniones. En el método analítico se mide el color desarrollado por la reducción del fosfomolibdato amónico con ácido ascórbico(16). La medida se realiza en un sistema autoanalizador, basada en la metodología propuesta por CADAHIA(18) y modificada por PIÑERO(83).

Fósforo protéico.  $P_p$ 

El procedimiento analítico es similar al del  $P(H_2PO_4^-)$ . La determinación se efectúa en el mineralizado de proteínas.

Cloruros.

El método analítico, se basa en el color desa...

rrollado al formarse un complejo coloreado de sulfocianuro férrico, debido a que una solución de  $(\text{SCN})_2\text{Hg}$  en presencia de  $\text{Cl}^-$ , origina un complejo de cloruro - mercuríco, con liberación de ión sulfocianuro, que en presencia de ión férrico, forma el complejo coloreado, anteriormente reseñado. La medida se realiza en un sistema autoanalizador Technicón.

#### Azufre soluble total. SST.

Se determina, en la savia directamente por oxidación en Horno Leco.

#### Sulfatos.

Se determina en la solución de aniones, por la precipitación de los sulfatos mediante  $\text{BaCl}_2$ , manteniéndose el precipitado en suspensión con un agente tensioactivo, para medir la turbidez en un espectrofotómetro de absorción.

#### Sodio, potasio, calcio y magnesio.

Se determinan directamente en la solución de cationes. Na, K y Ca por fotometría de llama y Mg por espectrofotometría de absorción atómica.

### Calcio precipitado en la fracción protéica.

En la solución mineralizada de proteínas, se encuentra una fracción de calcio, que precipita - con aniones orgánicos. Su determinación se realiza - por fotometría de llama.

### Azúcares reductores.

Su determinación analítica, se basa en una reacción de oxido-reducción del ferricianuro a ferro cianuro incoloro, por tanto se trata de una técnica colorimétrica inversa. La medida se realiza en un sistema autoanalizador Technicón, según la metodología - de CADAHIA y PIÑERO(19).

### 3.6.3. Análisis del PEG-4.000 en la materia vegetal.

El método se basa en una turbidimetría. El ácido tricloroacético con el PEG, en presencia de -  $\text{Ba(OH)}_2$ , da lugar a una turbidez, cuya intensidad se mide(48)(49).

## ELECCIÓN DEL PEG-4.000

Entre los diferentes PEG, se escogió como agente osmótico, el de peso molecular 4.000.

Para su elección han tenido un especial interés las consideraciones de las publicaciones de LA GERWERFF(64), JACKSON(51), LAWLOR(67)(66)(68), KAUFMANN(60), MACKLON y WEATHERLEY(73) y JANES(52)(53).

Hemos escogido el PEG-4.000, pues los polímeros de peso molecular elevado, se utilizan satisfactoriamente para disminuir el potencial osmótico de soluciones nutritivas, en el estudio desarrollo de plantas enteras, mientras que los grandes polímeros, como el 20.000, producen soluciones muy viscosas y formación de gran cantidad de espuma al ser aireadas.

Se han realizado pruebas con soluciones de PEG-4.000, de las concentraciones a utilizar en nuestros experimentos y después de diez días de aireación no llega a formarse espuma.

LAWLOR(66), estudia la absorción por la planta de PEG de diferente peso molecular, encontrando que las raíces, siempre que estén intactas, tienen una baja permeabilidad para los PEG 100, 4.000 y 20.000. Aunque el PEG 200 no daña las plantas, lo mismo que sucede con los grandes polímeros, penetra por las raíces y causa -

daño cuando se utiliza en períodos largos.

Por otro lado y respecto a la acción fitotóxica del PEG, algunos autores como LAGERWERF(64), LESHEM(69), MAKCLON(73), JACKSON(51) y PARMAR(81), opinan que se debe purificar.

Pero en 1.975 MEXAL y col(76), indican, que la solubilidad del oxígeno en las soluciones de PEG, disminuye con respecto a soluciones nutritivas normales, por tanto, las plantas creciendo en soluciones nutritivas conteniendo PEG pueden sufrir deficiencias de oxígeno, siendo esta una causa probable de efectos tóxicos del PEG.

Este problema, puede ser superado por una limitación en la concentración de PEG o por una aireación mas intensa, a través de finas burbujas, que al aumentar la concentración del oxígeno en la solución, evita el daño causado a las raíces por una vigorosa aireación.

REID y col.(88), informan de niveles de contenido en fósforo en PEG comercial, que podrían interferir en estudios de deficiencia de fósforo.

También LAWLOR(67), ensaya con PEG-4.000 purificado y sin purificar, en un amplio y profundo estudio sobre este tema, no encontrando diferencias significativas, como se observa en la tabla nº 7. El menor contenido

Tabla nº7. Efecto de la purificación del PEG-4000 con Sephadex G.25 en maíz (Zea mays) después de 14 días creciendo en solución con una presión osmótica de 2 bares.

	Control	PEG purificado	PEG sin purificar
Peso seco (g) hoja	0.52	0.39	0.37
tallo	0.52	0.41	0.46
raíces	0.49	0.48	0.48
Area de la hoja (cm <sup>2</sup> )	257	176	166
Contenido relativo de agua	0.98	0.89	0.93
PEG( mg/g de peso fresco)	0.00	0.25	0.40
Transpiración total(g/ planta)	78.4	51.4	50.8

do en PEG de las plantas, creciendo en soluciones con PEG purificado, puede deberse posiblemente, a que las moléculas pequeñas quedaban eliminadas por purificación con Sephadex G.25.

A partir de la publicación de este trabajo, se admite de forma general, que no es necesaria la purificación del PEG.

En resumen, se eligió el PEG-4.000 debido a que:

1. La información que existe, nos indica que no produce toxicidad en las plantas.
2. No hay necesidad de purificarlo.
3. Presenta una densidad y viscosidad aceptables.
4. No forma espuma al ser aireadas las soluciones.
5. Posee baja permeabilidad para las raíces, siempre que estén intactas.

## .8. ELECCION DEL SISTEMA DE MEDIDA DE LA PRESION OSMOTICA.

Para medir la presión osmótica de las soluciones de PEG en solución nutritiva, así como, de las soluciones con sales, se pueden usar varios métodos, entre los que se pueden citar la crioscopia termoelectrica, el termopar sicométrico y el osmómetro de presión de vapor. Pero el cálculo de la presión osmótica por descenso del punto de congelación (crioscopia termoelectrica), no es satisfactorio debido a un efecto de sinergismo entre el PEG y la solución cuando esta no es agua, que según APPLEGATE(4), para soluciones entre márgenes de +1 a +8 atm. de presión osmótica, da valores de hasta un 20 a un 40% mas altos, que los indicados por el segundo método. LAGERWERFF(64), explicaba este sinergismo, que hacía que la presión osmótica de soluciones iónicas de PEG-20.000, fuera considerablemente mayor que la suma de la presión osmótica de iones y PEG, por separado, basándose en una aparente disociación de la molécula de PEG en pequeñas moléculas de la misma estructura básica, bajo la influencia de los iones.

Este fenómeno de sinergismo entre el soluto y el PEG, ha sido estudiado recientemente por BURLYN y KAUFMANN(15), concretamente con el PEG 6.000, llegan



do al resultado de que con la solución nutritiva de Hoagland y Arnon, el efecto de sinergismo era cerca no al 7.4% del valor de la presión osmótica para el PEG en agua pura. Para estos autores, el efecto de - sinergismo mencionado antes, entre sales y PEG, es de bido, a la alteración de la jaula estructural de agua alrededor de los segmentos helicoidales de PEG, de for ma, que se puede unir mas agua al polímero, mediante puentes de hidrógeno.

BURLYN y KAUFMANN(15), también concluyeron que, cuando la solución de PEG es diluida, se produce un desorden mínimo en la cadena helicoidal del PEG y el efecto osmótico por molécula es pequeño, mientras que en soluciones mas concentradas, el desorden es ma yor y por consiguiente también lo es el efecto osmóti co.

Así pues, la medida de la presión osmótica por descenso del punto de congelación, no es un méto- do aceptable, por lo que los métodos mas generalizados son, el termopar sicométrico(64)(77)(107)(35) y el os- mómetro de presión de vapor(59)(73)(15). RICHARDS y OGATA(90) y EHLING(33), han efectuado en sus trabajos, una descripción detallada del primer método.

El empleo de un método u otro, es indepen-

diente del fin del trabajo a realizar, como se apreciaba revisando un poco los trabajos citados. Así LAGERWERFF(64), utiliza el termopar sicométrico para medir presiones osmóticas de distintos compuestos, que utiliza como agentes osmóticos. LAWLOR(67), lo utiliza en su trabajo, en el cual estudia la absorción del PEG por distintas plantas y su efecto en el crecimiento, MICHEL(77) también utiliza el mismo procedimiento para medir la presión osmótica de soluciones de PEG-6.000, las cuales va a comparar con los efectos que produce el manitol como inhibidor del crecimiento de los hipocotíleos del pepino, y ERLANDSSON(35), para medir el potencial osmótico de soluciones de PEG 400 y 6.000.

Por otra lado, KAUFMANN(59), utiliza el osmómetro de presión de vapor para estudiar el efecto del potencial de agua en la germinación de la lechuga y girasol, MACKLON y WETHERLEY(73), para realizar estudios sobre los motivos del déficit de agua en las plantas, y BURLYN y KAUFMANN(15), compara las medidas por éste método, con las obtenidas por el isopiéstico descrito por BOYER(14), observando valores un poco mas altos para el osmómetro de presión de vapor.

Por tanto, como en la actualidad se emplea

indistintamente el termopar sicométrico o el osmómetro de presión de vapor, las medidas que figuran en este trabajo se han realizado con éste último, por disponer de un aparato de éste tipo.

4. P A R T E   E X P E R I M E N T A L

# 1. SISTEMA AUTOMATICO DE CULTIVO HIDROPONICO DE AGUA CON SOLUCION CIRCULANTE.

En los experimentos realizados utilizando cultivos hidropónicos, un factor primordial es la -- elección de un sistema de cultivo adecuado que reúna las condiciones necesarias para ser aplicado al estu dio específico que se va a llevar a cabo.

Como problemas de carácter general que hay que resolver cuando se utilizan cultivos hidropónicos señalaremos la renovación y circulación de la solución nutritiva que se utiliza, así como el control de la -- concentración y el pH de la misma. La renovación de la solución nutritiva es precisa no sólo para mantener la concentración primitiva, sino también, para eliminar la concentración de productos perjudiciales escretados por las raíces de las plantas en cultivo. El control -- del pH se debe efectuar diariamente.

Cuando se investiga en problemas de nutrición relacionados con la concentración del medio nutritivo se pueden adoptar dos criterios:

- a) Renovación muy frecuente de la solución nutritiva.
- b) Circulación de un volumen muy grande de solución nutritiva.

En los experimentos que se realizan en este estudio, es necesario conservar constante la concentración de la solución nutritiva utilizada y considerando que es poco económico y de gran manipulación, el cambio frecuente de la solución nutritiva, hemos adoptado el - criterio de circulación de un volumen grande de solución nutritiva.

El primer problema que se planteó, fué la elección del procedimiento de circulación de la solución. El sistema que se vaya a utilizar para cultivo en solución circulante, consideramos que debe reunir las siguientes condiciones:

- 1) Funcionamiento automático.
- 2) Circulación y aireación de la solución nutritiva, regulables según las necesidades.
- 3) Facilidad de toma de muestra para el control de la concentración y pH de la misma.
- 4) Fácil renovación de la solución nutritiva.
- 5) Montaje sencillo.
- 6) Todo el sistema debe estar integrado por material que no contamine la solución.
- 7) Coste reducido.
- 8) Utilización de materiales de fácil adquisición en el mercado.

Existen varios métodos que se utilizan en diseños de sistemas para cultivo hidropónico, con el fin de hacer circular la solución nutritiva, sin embargo el método de "absorción por aire"(air-lift) tiene muchas ventajas comparado con otros, que son muy laboriosos o complicados,

como el método de irrigación por gravedad, o la técnica de autoirrigación basada en la succión con cilindros ce rámicos porosos y que aplica VON HAUT(107), en su sistema.

En los sistemas de solución circulante que re quieren bombas que impulsen la solución nutritiva en el circuito, además de ser complicados, la solución nutritiva puede contaminarse al estar en contacto con las par tes metálicas de las mismas; las bombas que se utilizan actualmente se fabrican generalmente de material plástico, con lo cual se evita este peligro, pero su coste es bastante elevado. Algunos equipos que utilizan este método son los de SWAN(104) y W.VAN DRIEL(108).

Un sistema automático para riego de tiestos ex perimentales, con soporte inerte, basado en el método de "absorción por aire", fué introducido en 1938 por CHAPMAN y LIEBING(24) y modificado mas tarde por EATON y BERNARDIN(33). Basándose principalmente en éste método de haer circular la solución nutritiva existe una extensa bibliografía sobre sistemas de cultivo hidropónico como son los trabajos de ANDREW y PETERS(3), COOPER(25), DEKOCK y HALL(27), HAAHR(40), HOAGLAND y ARNON(46), JOHNSON(57) y WILLIAMS(109) entre otros en los cuales cada autor adapta el diseño a sus necesidades.

El sistema automático para cultivo hidropónico diseñado por nosotros, está basado en el utilizado por W. VAN DRIEL(108), empleando para elevar la solución nutritiva desde los bidones depósitos al tiesto nivel, el procedimiento de "absorción por aire", con lo cual se consigue una renovación mas constante, de la solución nutritiva en los tiestos de cultivo, debido a que el volumen de ésta que sube desde el depósito de almacenaje a los tiestos de cultivo es mucho menor, del orden de litros/hora, regulable según el caudal de aire que se utilice, mientras que con la bomba centrífuga el caudal es del orden de litros/minuto, y por tanto su funcionamiento queda reducido a periodos de tiempo muy cortos.

#### .1.1 Constituyentes del sistema de cultivo.

El esquema del sistema de cultivo queda formado como se indica en el nº 18 y en las fotos nº 1, 2, 3, 4, y 5.

La solución nutritiva, que está almacenada en bidones de polietileno(1) de 50 litros de capacidad, se eleva al primer tiesto(2), que actúa como depósito nivel, mediante bombas de aire(12), controladas por un reloj



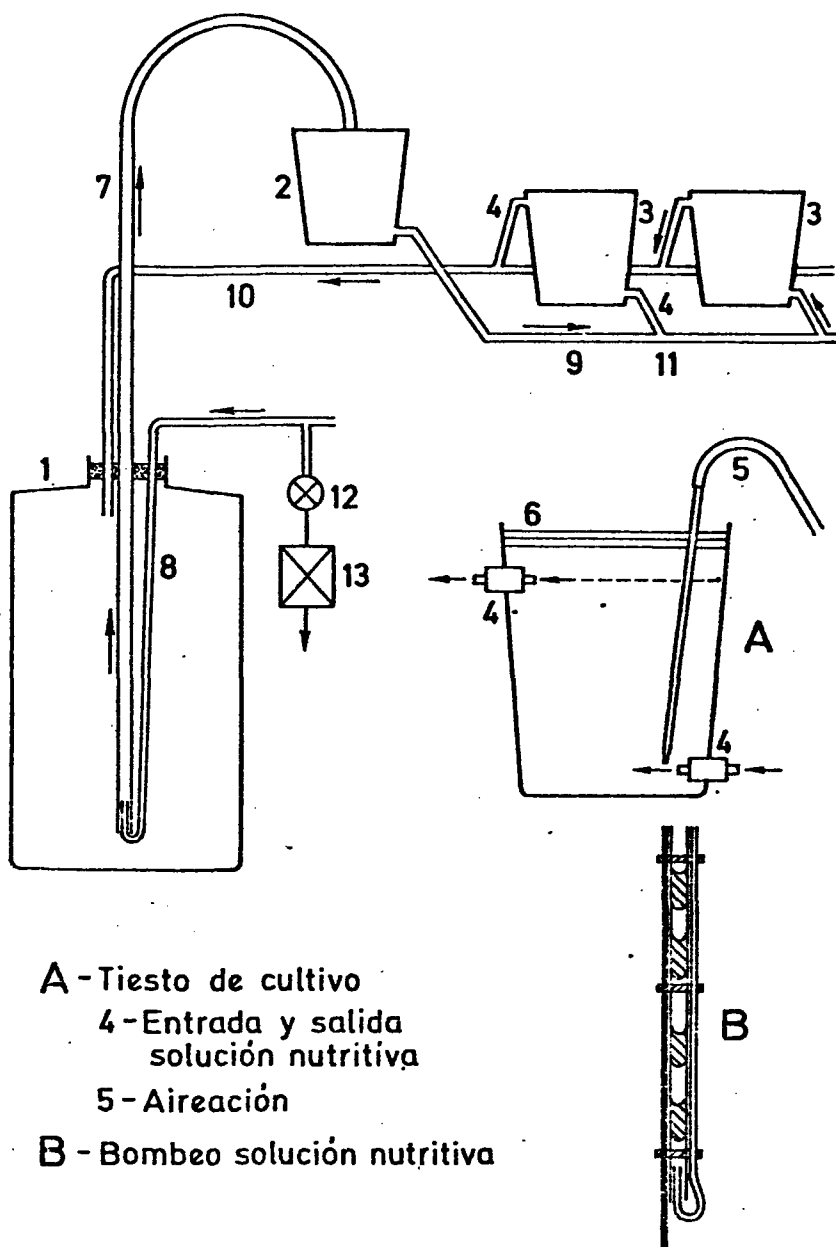


Fig.18- EQUIPO DE CULTIVO



Foto nº1. Montaje general del equipo  
de cultivo.



Foto nº2. Vista parcial del montaje  
del equipo de cultivo.



Foto nº3. Detalle de un tiesto de cultivo:

1- Tubo de aireación de la solución nutritiva

2-Entrada de la solución nutritiva.

3-Salida de la solución nutritiva.

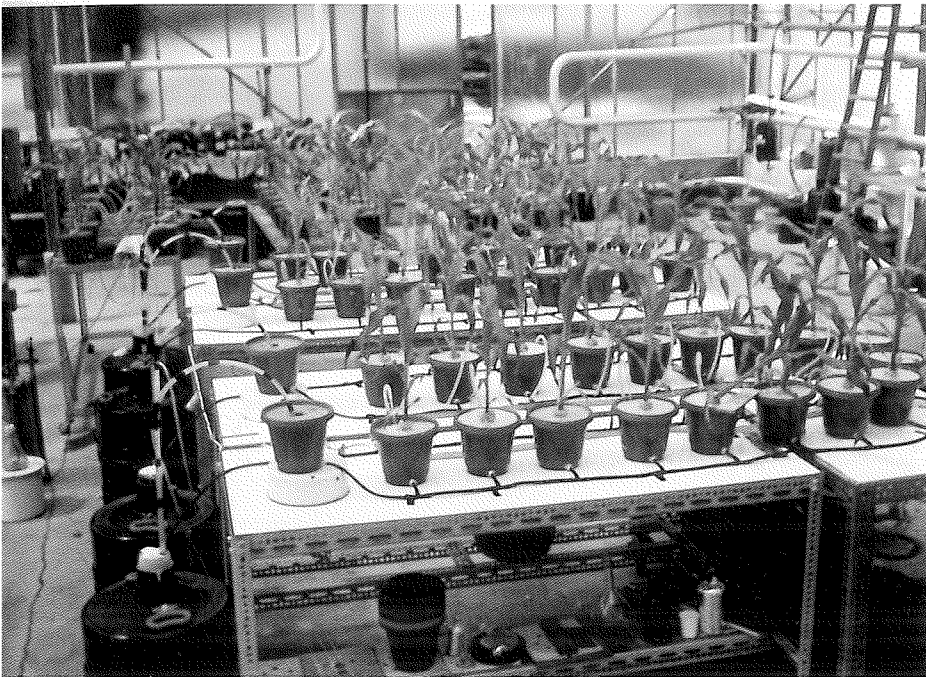


Foto nº5. Vista general del sistema de cultivo

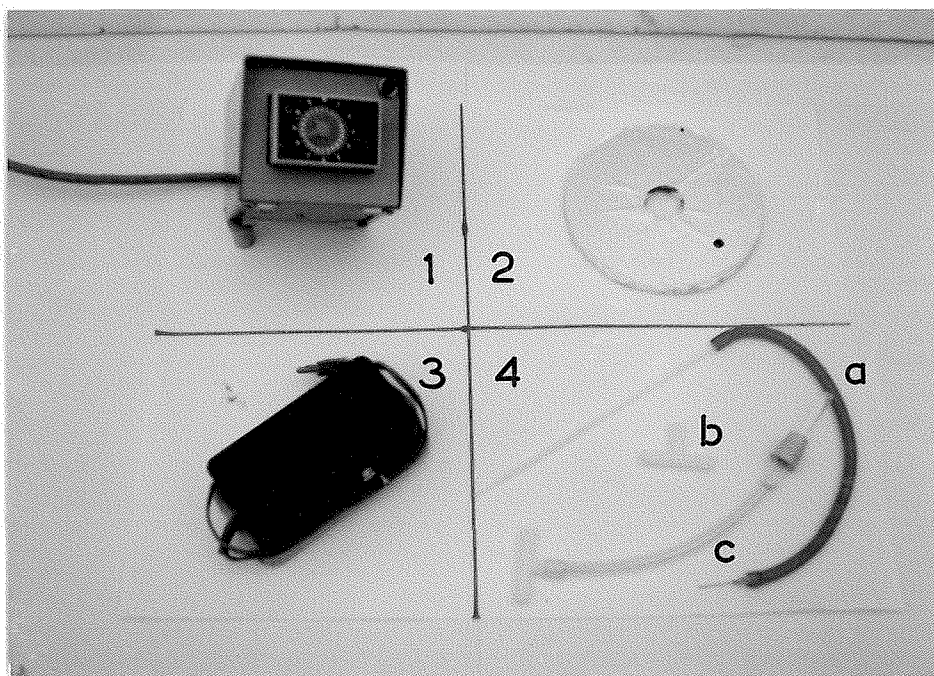


Foto nº4. Algunos componentes del equipo de cultiv

1-Reloj temporizador electrico.

2-Tapa del tiesto de cultivo.

3-Bomba de aire.

4- a-Varilla de aireación; b-T de plastico; c-Elemento de conexión entre el tiesto de cultivo y la red de circulación.

eléctrico(13) programable por un tiempo máximo de 24 horas, al cabo de las cuales repite el programa. La entrada de la solución nutritiva en los tiestos de cultivo(3) de una capacidad útil de 1.25 litros, se produce por la parte inferior(4) y un nivel situado por la parte superior, sirve de salida a la solución, que mediante un tubo, regresa de nuevo al bidón de 50 litros desde donde de nuevo comenzará su ciclo.

El sistema de aireación, foto nº 4, está formado por una bomba de aire, que mediante tubos de plástico perforados por agujas inyectables, conducen el aire a un tubo de vidrio que termina en una salida de 1 mm de diámetro y que va introducido en la solución nutritiva del tiesto de cultivo. Estas bombas de aire son controladas también por el reloj eléctrico(13).

Este equipo de cultivo, permite una circulación máxima de aproximadamente 13 litros/hora, utilizando una bomba de aire por cada dos depósitos de almacenaje, lo que para un circuito de diez tiestos de cultivo de la capacidad indicada, supone la renovación de la solución nutritiva cada hora.

Todo el material utilizado en este equipo de cultivo es de plástico y la clase del mismo y dimensiones quedan especificadas a continuación; según el esquema de la fig. nº 18.

1. Bidón de polietileno de 50 litros de capacidad pa  
ra la solución nutritiva.
2. Tiesto nivel, de 1.25 litros de capacidad útil, si  
tuado a 7 cm. de altura.
3. Tiesto de cultivo de 1.25 litros de capacidad útil.
4. Unión de los tiestos de cultivo a la red de circula  
ción de la solución nutritiva a través de un tapón de  
goma, nº 2, atravesado por un tubo de vidrio al cual  
van unidos los tubos de plástico.
5. Tubo de aireación, que se compone: de un tubo de vi  
drio que termina en una salida para el aire de 1 mm de  
diámetro. Este tubo va unido a la tubería de aire a -  
través de un tubo de goma virgen y una aguja de 1 mm  
de diámetro.
6. Tapas de los tiestos de 153 mm de diámetro (este va-  
lor tiene como objeto que encaje en los tiestos) y 5mm  
de espesor, con un orificio central de 30 mm de diáme-  
tro para colocar la planta y otro lateral de 8 mm para  
introducir el tubo de aireación, situado a 50 mm del  
centro de la tapa. Cada tiesto lleva dos tapas una in-  
ferior de plástico rígido y otra superior de madera.
7. Tubo de plástico flexible de 10mm de diámetro exte  
rior y 8mm de diámetro interior, por el cual asciende  
la solución del bidón al tiesto nivel, impulsada por



aire.

8. Tubo de plástico flexible de 6mm de diámetro exterior y 4mm de diámetro interior por el cual circula el aire que se utiliza para impulsar la solución nutritiva. Este tubo debe ir introducido aproximadamente 4 ó 5 cm en el tubo del apartado 7. Ambos tubos van fijos a una varilla de vidrio para darles la forma necesaria.

9. 10. Tubos de plástico con las características del apartado 7 por los cuales llega y sale la solución nutritiva a los tiestos de cultivo.

11. Las conexiones se hacen mediante T de plástico de 9mm de diámetro exterior.

12. Bomba de aire Rena-300. Son necesarias: una por cada dos depósitos de almacenaje y una para la aireación de cada dos unidades de 10 tiestos de cultivo.

13. Reloj temporizador eléctrico Kowell, de una potencia máxima de 3.000 watios, programable por períodos de media hora en adelante, por un tiempo máximo de 24 horas, al cabo de las cuales repite el programa.

El pH se ha medido utilizando electrodo de vidrio y la conductividad con un conductivímetro Radiometer Copenhagen.

Las determinaciones analíticas se han reali-

zado, para el Mg, Fe, Mn y Zn por absorción atómica; P por colorimetría en autoanalizador Technicón(18) el N por electrodos de ión selectivo; el Ca, K y Na por fotometría de llama.

#### 4.1.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.

Los datos que aparecen en el presente trabajo se pueden aplicar al cultivo del maíz híbrido variedad INIA 8.309 durante sus primeras seis semanas - de cultivo, aproximadamente la mitad de su ciclo vegetativo, que es el que hemos utilizado en este experimento.

En las tablas nº 8, 9, 10, 11 y 12, vienen reseñados los datos de concentración de macroelementos, los de pH y conductividad, determinaciones realizadas durante los 41 días que dura el experimento.

En las tablas, aparecen cuatro datos para cada determinación, que se corresponden con las repeticiones del experimento. Cada uno de estos datos, es el valor medio de dos determinaciones efectuadas sobre dos muestras distintas, tomadas de un mismo bidón.

La renovación de la solución nutritiva se ha efectuado en cuatro períodos que comprenden los siguien

Tabla No 8. Valores de la concentración de macroelementos en ppm.

dia	1	2	3	4	5	6	7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	935	935	935	935	935	930	915
	935	935	935	935	935	935	930
	935	935	935	935	935	935	920
	930	935	930	935	930	920	900
PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	93	93	93	89	89	90	88
	96	93	90	90	90	91	90
	96	93	93	93	96	93	92
	96	93	91	90	90	92	90
K <sup>+</sup>	236	236	240	231	231	230	230
	236	231	231	227	228	231	231
	244	240	246	236	237	238	240
	245	238	244	235	240	240	239
Ca <sup>++</sup>	199	200	190	190	190	195	190
	193	197	190	190	190	195	190
	204	204	200	204	200	200	197
	204	200	190	190	190	190	190
Mg <sup>++</sup>	48	48	49	47	46	48	47
	47	47	47	48	47	46	47
	50	49	50	51	50	50	50
	48	48	48	49	50	48	48

Tabla nº9. Valores de la concentración de macroelementos en ppm (continuación).

dia	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
NO <sup>3-</sup>	1400	1350	1350	1325	1280	1280	1250	1230	1220	1200	1185	1150	1125	1100	1100
	1400	1350	1350	1325	1300	1275	1250	1225	1220	1200	1175	1150	1125	1125	1100
	1400	1350	1350	1350	1300	1275	1250	1250	1230	1210	1200	1180	1180	1150	1135
	1410	1350	1350	1325	1300	1300	1250	1230	1230	1220	1210	1200	1185	1175	1165
PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	139	139	138	139	135	133	126	124	120	122	122	120	121	120	118
	140	138	135	133	135	135	130	129	126	125	124	122	122	120	120
	140	138	135	132	130	129	129	128	126	123	123	123	122	121	120
	139	138	136	135	136	135	130	126	126	125	124	122	120	121	117
K <sup>+</sup>	354	350	345	350	345	340	340	330	335	335	329	330	329	325	320
	350	350	350	345	350	340	340	335	335	330	325	330	332	326	320
	355	355	345	340	340	345	345	340	335	335	330	330	325	325	325
	360	357	345	340	345	345	350	340	346	339	335	340	330	332	330
Ca <sup>++</sup>	292	300	285	300	300	270	270	270	270	270	285	285	270	270	285
	300	300	285	270	285	285	270	270	270	270	285	285	270	270	270
	300	300	285	300	285	270	300	270	270	285	285	270	270	285	270
	300	300	285	285	285	300	285	270	285	270	285	270	270	285	285
Mg <sup>++</sup>	106	106	104	107	106	107	106	101	100	98	96	95	94	95	94
	102	102	101	102	101	101	101	101	99	96	96	95	91	93	93
	103	103	102	102	102	102	103	100	101	98	96	95	95	97	95
	105	108	103	105	106	106	104	102	98	98	96	94	95	94	93

Tabla nº10. Valores de la concentración de macroelementos en ppm(continuación).

día	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
NO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	1425	1425	1375	1300	1250	1200	1150	1100	1050	1000	950	875	855
	1400	1375	1350	1300	1250	1225	1200	1175	1150	1100	950	925	900
	1400	1350	1325	1300	1275	1200	1150	1125	1000	975	950	950	925
	1425	1400	1375	1350	1300	1250	1200	1175	1125	1100	1050	1050	1025
PO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	140	143	140	138	137	130	126	125	121	116	110	105	101
	142	144	140	137	136	132	128	124	123	117	113	107	105
	144	144	140	140	135	131	125	120	116	110	106	104	104
	145	142	140	138	136	129	126	122	120	116	112	108	100
K <sup>+</sup>	357	357	350	350	346	346	340	332	330	320	310	310	305
	362	362	355	356	350	350	345	342	335	330	325	318	320
	350	350	344	345	340	342	338	333	330	325	319	316	310
	350	360	345	340	338	330	331	324	320	312	305	308	300
Ca <sup>++</sup>	320	320	310	310	295	310	310	310	320	310	310	320	310
	320	320	290	310	310	300	300	300	300	310	300	310	310
	300	300	300	300	285	300	300	285	300	300	290	300	290
	300	300	300	300	285	300	300	300	285	300	300	300	300
Mg <sup>++</sup>	140	141	138	135	134	130	126	123	121	122	120	118	119
	150	145	145	145	139	137	134	132	130	127	125	123	125
	145	145	143	142	142	137	134	130	128	127	125	124	124
	146	145	145	142	140	138	135	131	129	128	126	125	125

Tabla nº11. Valores de la concentración de  
macroelementos (Continuación).

dia	36	37	38	39	40	41
$\text{NO}_3^-$	1400 1425 1410 1400	1400 1350 1375 1375	1350 1325 1350 1325	1300 1250 1325 1325	1250 1225 1300 1300	1225 1200 1270 1275
$\text{PO}_4^{=}$	139 141 140 140	138 136 138 138	136 136 135 136	132 130 130 132	130 128 126 128	127 125 120 125
$\text{K}^+$	350 355 350 360	350 350 350 355	345 350 350 356	342 345 345 353	340 342 340 346	340 342 338 345
$\text{Ca}^{++}$	300 320 300 300	300 320 300 290	300 300 300 290	290 320 300 300	310 300 290 285	290 310 300 285
$\text{Mg}^{++}$	145 146 148 145	145 145 146 145	142 146 142 143	141 142 143 141	138 138 140 140	136 135 141 138

TABLA nº 12. Valores del pH y de la conductividad de la solución nutritiva.

Día	pH				Conductividad			
					$\times 10^{-3}$ mho			
1	5.9	6.0	6.0	6.0	1.6	1.6	1.6	1.6
2	6.0	6.0	6.0	6.1	1.6	1.6	1.6	1.6
3	6.0	6.0	6.0	6.1	1.6	1.5	1.6	1.6
4	6.1	6.1	6.1	6.1	1.6	1.5	1.6	1.5
5	6.0	6.1	6.1	6.1	1.5	1.6	1.6	1.6
6	6.1	6.1	6.1	6.1	1.6	1.6	1.6	1.6
7	6.0	6.1	6.1	6.1	1.6	1.6..	1.6	1.6
8	5.8	5.8	5.8	5.8	2.3	2.3	2.3	2.4
9	5.8	5.8	5.8	5.8	2.3	2.3	2.4	2.4
10	5.9	5.8	5.9	5.8	2.3	2.3	2.3	2.4
11	5.9	5.9	5.9	5.9	2.3	2.3	2.2	2.3
12	5.8	5.9	5.9	5.8	2.3	2.3	2.3	2.3
13	5.9	5.8	5.9	5.9	2.3	2.3	2.3	2.3
14	5.9	5.9	6.0	6.0	2.2	2.3	2.2	2.3
15	5.9	5.9	5.9	6.0	2.2	2.2	2.2	2.3
16	6.0	6.0	6.0	6.0	2.2	2.3	2.2	2.3
17	6.0	6.0	6.0	6.0	2.2	2.3	2.2	2.3
18	6.1	6.0	6.1	6.1	2.2	2.2	2.2	2.3
19	*6.2	6.1	6.2	6.1	2.1	2.2	2.1	2.2
20	5.8	5.8	5.8	5.8	2.1	2.1	2.1	2.2
21	5.8	5.9	5.8	5.8	2.0	2.1	2.0	2.1
22	5.9	5.8	5.9	5.9	2.1	2.1	2.0	2.2
23	5.9	5.9	6.0	5.9	3.1	3.2	3.1	3.2
24	6.0	5.9	6.0	6.0	3.1	3.2	3.1	3.2
25	6.0	6.1	6.1	6.0	3.0	3.1	3.0	3.2
26	6.1	6.1	6.2	6.1	3.1	3.1	3.0	3.2
27	*6.1	6.2	6.2	6.2	3.0	3.0	2.9	3.1
28	5.8	5.8	5.8	5.8	2.9	2.9	2.9	3.1
29	5.8	5.9	5.9	5.8	2.9	2.8	2.9	3.0
30	5.9	5.9	6.0	6.0	2.8	2.9	2.8	3.0
31	6.0	5.9	6.1	6.0	2.8	2.8	2.7	2.9
32	6.1	6.1	6.1	6.0	2.8	2.9	2.7	2.9
33	*6.1	6.2	6.2	6.1	2.7	2.8	2.7	2.9
34	5.8	5.8	5.8	5.8	2.8	2.7	2.6	2.8
35	6.0	5.9	5.8	5.9	2.7	2.8	2.7	2.8
36	5.8	5.9	5.8	5.9	3.2	3.2	3.1	3.2
37	5.9	5.9	5.8	5.8	3.2	3.2	3.1	3.2
38	5.9	6.0	5.9	6.0	3.1	3.1	3.0	3.1
39	6.0	6.1	6.0	6.0	3.0	3.1	3.0	3.1
40	6.1	6.1	6.0	6.1	2.9	3.0	2.9	2.9
41	6.2	6.2	6.2	6.2	3.0	2.9	2.9	2.8

\*acidificación con ácido sulfúrico.

tes días: primer período días 1 al 7; segundo período días 8 al 22; tercer período días 23 al 35; y cuarto período días 36 al 41.

Se observa que durante los siete primeros días de cultivo, primer período, tanto los valores de la conductividad como los de la concentración de los elementos de la solución nutritiva utilizada, son mas bajos que para el resto del tiempo, esto es debido a que se ha tenido en cuenta que la planta cultivada es un híbrido y que como tal, su ciclo vegetativo es mas corto que el de línea pura, al mismo tiempo que su desarrollo es considerablemente mayor que el del anterior, lo cual va unido a unas necesidades mucho mas elevadas en elementos nutritivos, por lo que hemos considerado que a partir del séptimo día, la concentración en nitratos y fosfatos de la solución nutritiva de Hoagland y Snyder se debería aumentar en una mitad mas. Con objeto de no producir un desequilibrio en la solución nutritiva, se ha aumentado también la concentración del resto de nutrientes en la proporción en que se aumentan los nitratos.

El Mg sin embargo, es necesario aumentarlo en el doble y posteriormente, tercer y cuarto períodos de cultivo, en uno y medio mas de lo normal, pues se ha -



observado en experimentos previos, que la relación  $Mg/K + Ca$  de la solución nutritiva de Hoagland y Snyder, es baja para el perfecto desarrollo de este híbrido.

A partir del octavo día se ha llevado un control riguroso del Fe, ya que el aumento del fósforo introducido en la solución nutritiva, induce una deficiencia de Fe como afirman DECKOCK y col.(28) y MILLER y col.(78), apareciendo un precipitado del Fe con el fosfato. La clorosis que se acusa ligeramente en las plantas por este motivo, desaparece al adicionar Fe en cantidad superior a lo normal.

El Mn y el Zn, se han determinado el primero y último día de utilización de la solución nutritiva. A partir del segundo período de cultivo, las variaciones del Mn son de 0,2 ppm., mientras que la concentración del Zn permanece prácticamente constante hasta el cuarto período de cultivo, en el cual las variaciones experimentales son de 0.03 ppm.

El criterio adoptado ha dado resultados positivos pues se han obtenido plantas muy desarrolladas y de aspecto normal.

#### 4.1.3. CONTROL DE LA SOLUCION NUTRITIVA.

Las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento, poseen concentraciones demasiado elevadas en macroelementos para los aparatos que se utilizan en su análisis, por lo cual se deben realizar diluciones que introducen un factor que da como resultado el que diferencias de 67 ppm. en  $\text{NO}_3^-$ , 3 ppm. en  $\text{PO}_4^{=}$ , 10 ppm. en K, 20 ppm. en Ca y 1 ppm. en Mg, no deban tenerse en cuenta como variaciones en la concentración.

Los análisis de la solución nutritiva, indican que no hay variaciones de concentración de elementos en los 7 primeros días, en el 2º período (días 8 a 22), experimentan ligero descenso el Mg, K y fosfatos a partir del 7 día, y los nitratos 5-6 días. Para el tercer período (días 23 a 35), a partir del séptimo día sólo se conserva la concentración de Ca. En el cuarto período (días 36 a 41), las variaciones en concentración se asemejan al tercer período.

En el cuadro no van incluidos los datos de sodio porque no sufre variaciones durante el experimento.

## pH

Los valores de pH para los cuales se desarrolla mejor el maíz están comprendidos entre 5.5 y 6.5, por este motivo se ajusta el pH de la solución nutritiva alrededor de seis. Los valores de pH de la solución nutritiva reflejados en la tabla nº 12, muestran que no existe mucha variación y cuando el valor llega a 6.2, que suele ser cada cinco días, a partir de los dieciocho días de cultivo, se acidifica la solución nutritiva con ácido sulfúrico. Esta acidificación se puede realizar también con ácido nítrico o -fósforico si se han producido variaciones de estos -aniones mayores que de los cationes que les acompañan (K, Ca).

## Conductividad.

Los valores de conductividad que quedan reflejados en la tabla nº 9, experimentan una ligera disminución en los últimos días de uso de la solución nutritiva, siendo función de la edad de la planta la mayor variación de la conductividad.

#### 4.1.4. NORMAS PARA LA UTILIZACION DEL SISTEMA AUTOMATICO DE CULTIVO.

Con la planta de maíz híbrido variedad INIA 8.309 utilizando el volumen indicado por nosotros y el número de plantas señalado, para conservar constante el pH, hay que acidificar cada cinco días a partir de la segunda semana. Para conservar constante la conductividad y la concentración de la solución nutritiva, es necesario cambiar la solución cada semana, o incrementar los elementos nutritivos para llevarles a la concentración inicial.

Si el control de la solución se desea efectuar a intervalos mayores hay que utilizar o mas volumen de solución o menor número de plantas.

Una vez llevado a cabo el control del funcionamiento de este aparato los datos obtenidos nos indican que es un procedimiento adecuado para llevar a cabo el estudio del tema propuesto en este trabajo.

#### 4.2. ANALISIS DEL PEG-4.000 EN LA MATERIA VEGETAL.

De acuerdo con la bibliografía, como se ha comentado anteriormente, el PEG-4.000 no es fácilmente absorbido por las raíces de las plantas y precisamente a esta propiedad debe el que se utilice como agente osmótico por numerosos autores y con diferentes fines.

No obstante, para poder tener la certeza de que, efectivamente, no fué absorbido por la planta, y de esta forma llegar a conclusiones correctas, es necesario realizar su análisis cuantitativo en la materia vegetal.

Para tal fin, hemos puesto en marcha el procedimiento basado en el descrito por HYDEN(48) y (49), -- que es utilizado y recomendado en los trabajos actuales de JAMES(55), LAWLOR(67) y RUF(92).

##### Fundamento.

El método está basado en una turbidimetría. El ácido tricloroacético con el PEG, en presencia de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ , da lugar a una turbidez que se mide en un colorímetro a 578 mm.

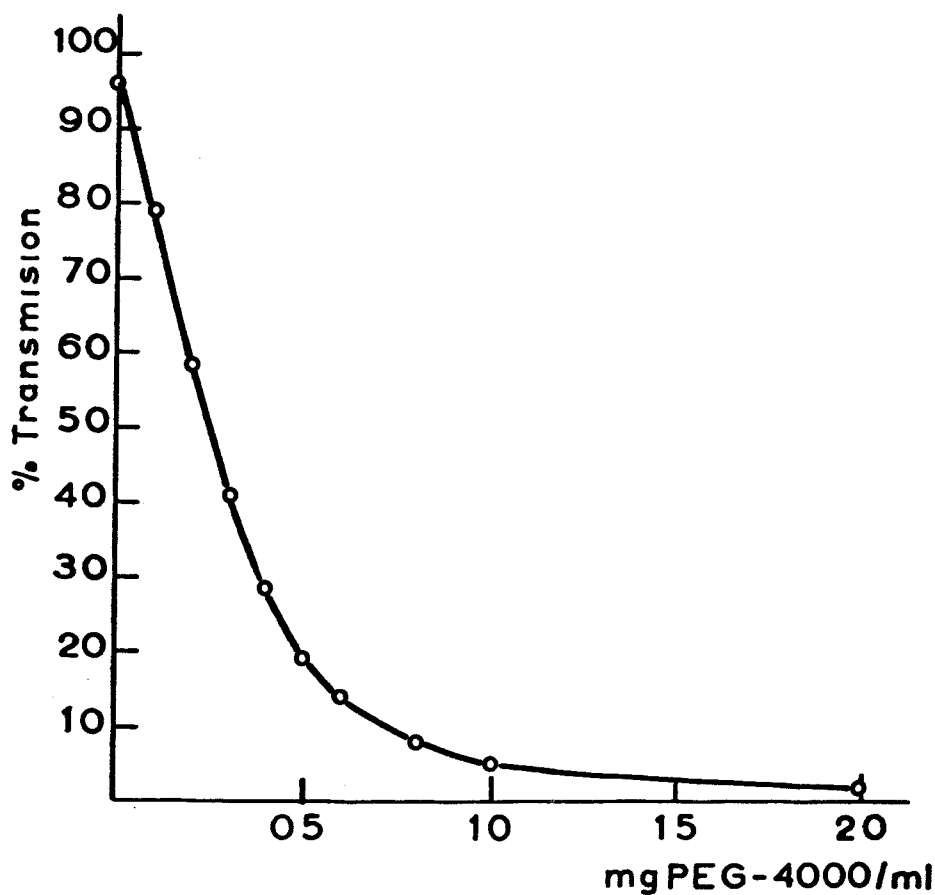
En la fig. 19 se indica la curva de calibrado obtenida experimentalmente por nosotros, y en la tabla n<sup>o</sup> 13 están reflejados los valores de % de transmisión.

A partir de 1.0 mg. PEG-4.000/ml. el método no tiene sensibilidad.

TABLA n<sup>o</sup> 13. Relación entre concentraciones de PEG-4.000 y % de transmisión.

mgrPEG-4.000 ml	% Trasmisión repeticiones				% Trasmisión valor medio
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	
0	95	97	96	96	96.0
0.1	78	78	80	80	79.0
0.2	59	58	59	58	58.5
0.3	40	39	41	41	40.7
0.4	29	27	28	30	28.5
0.5	21	19	19	19	19.5
0.6	15	14	14	13	14.0
0.8	7	7	8	8	7.5
1.0	5	5	5	5	5.0
2.0	2	2	2	2	2.0
3.0	1	1	1	1	1.0
4.0	1	1	1	1	1.0
5.0	1	1	1	1	1.0

FIG. 19 - CURVA DE CALIBRADO. RELACION ENTRE LA CON-  
CENTRACION DE PEG-4000 Y EL % DE TRANSMISION.



### Método operatorio.

A continuación exponemos el método operatorio, en el cual se han introducido algunas modificaciones en el método de HYDEN.

Se toma la muestra a analizar, una vez pesada, se introduce en una bolsa de plástico u otro tipo de recipiente y se guarda en congelador hasta el momento en que se vaya a realizar su análisis. Si la muestra a analizar es la raíz, se lava detenidamente en agua corriente caliente, después de secada convenientemente, se pesa y se guarda en congelador.

Cuando se procede a realizar el análisis, se descongelan las muestras, obteniéndose, por la aplicación de presión sobre el material deshelado, un jugo, que denominamos savia. Esta savia, se centrifuga durante 15 minutos a 2.146 gess y se pipetea una alícuota de 1 ml., previa una dilución adecuada, al tubo de centrifugar donde se le añaden 0.6 ml. de la solución de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (al 10% P/V), 0.6 ml. de solución de  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  saturada y 0.6 ml. de la solución de  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (al 5% P/V), agitando el tubo después de cada adición. Se espera como mínimo 5 minutos después de la última adición y a continuación se procede a su centrifugación a 2.146 gess,



durante 20 minutos. El líquido sobrenadante, se trasvasa a un tubo de ensayo, añadiendo 3 ml. de solución de ácido tricloroacético. ( $\text{Cl}_3\text{C}-\text{COOH}$  450 gr.,  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  50gr. y  $\text{H}_2\text{O}$  destilada hasta 1.000 ml.). A los 5 minutos de esta adición, se mide la turbidez producida a una  $\lambda = 578 \text{ nm.}$  con un colorímetro.

### Interferencias.

En este método interfieren los sulfatos y las proteínas, que son eliminados respectivamente, mediante la adición de cloruro bórico y reactivo de SOMOGYI(101).

### Comprobación de la precipitación de las proteínas.

Al no disponerse de ultracentrifugadora para poder centrifugar a los gess que recomienda la bibliografía, se comprobó si la desaparición de las proteínas era total a 2.146 gess. Para ello, se determinó el PEG en soluciones de distintas concentraciones con o sin savia, los resultados que se obtuvieron con savia de planta de tomate o maíz, figuran en las tablas nº 14 y 15 respectivamente.

Se comprueba pues, que no existen diferencias en la cantidad de PEG encontrado en soluciones con , o sin savia, de las plantas de tomate o maíz, lo que de-

Tabla nº14. Comprobación de la no interferencia de compuestos fenólicos, separación de proteínas y tiempo de almacenamiento de la muestra extraída en planta de tomate en el contenido de PEG-4000.

PEG-4000 mg/ml	0.1		0.2		0.3	
	sin savia	con savia	sin savia	con savia	sin savia	con savia
%T	79	81	58	57	40	40
	82	80	61	57	43	40
	82	78	60	56	41	42
%T*	80	80	59	58	42	40
	81	79	61	57	42	40
	80	80	61	60	43	43

%T = tanto por ciento de transmisión.

\* = valores obtenidos a las 24 horas de haber preparado las soluciones.

Tabla nº15. Comprobación de la no interferencia de compuestos fenólicos, separación de proteínas y tiempo de almacenamiento de la muestra extraída en planta de maíz en el contenido de PEG-4000.

PEG-4000 mg/ml	0.1		0.2		0.3	
	sin savia	con savia	sin savia	con savia	sin savia	con savia
%T	78	78	57	57	40	39
	81	81	60	57	43	40
	80	79	59	59	40	38
%T*	80	78	59	56	41	38
	80	78	60	57	41	39
	79	78	58	59	40	38

%T = tanto por ciento de transmisión.

\* = valores obtenidos a las 24 horas de haber preparado las soluciones.

muestra que no existe interferencia, por parte de las proteínas, en la determinación del PEG-4.000.

### Interferencia de los compuestos fenólicos.

Según la revisión bibliográfica de LOOMIS y BATTAILE(70), el PEG reacciona con los compuestos fenólicos presentes en la pulpa procedente de la maceración de las hojas, y por tanto, no puede recuperarse cuantitativamente por el procedimiento de extracción de Hyden, según LAWLOR(67).

Esta interferencia, según informa JANES(55), se puede evitar congelando los tejidos a los que se extraerá el jugo, obteniendo de este modo, para las plantas de pimiento, índices de recuperación mayores al 95% para PEG de todos los tamaños moleculares.

Siguiendo el método operatorio anteriormente expuesto y teniendo en cuenta los resultados de las tablas nº 14 y 15 se comprueba que:

- se pueden almacenar las muestras de un día a otro una vez separado el jugo del resto vegetal.
- los compuestos fenólicos no interfieren, pues se obtienen índices de recuperación del orden del 95% para plantas de tomate.

Cálculos.

$$\text{mg PEG-4.000/g hoja} = \frac{(\text{mg PEG-4.000/ml})(\text{ml}) (1/\text{ml.a.})}{p}$$

mg PEG-4.000/ml = mg de PEG-4.000 en un ml. de savia

ml = ml. de savia obtenidos,

ml.a. = ml. tomados para el análisis.

p = peso húmedo de la hoja.

#### 4.3. ANALISIS QUIMICO DE PEG-4.000.

Para poder comprobar que el PEG que utilizamos, no rebasa los límites de impurezas que señala --LAWLOR(67) y por tanto, no tener necesidad de purificarlo, es necesario realizar su análisis.

El resultado del análisis del PEG-4.000 de la casa Hoechst Ibérica S.A., que es el que utilizamos en nuestros experimentos, se encuentra en la tabla nº 16. Para comprobar que estos valores no interfieren en el análisis foliar, se realizó el análisis de plantas de tomate procedentes de un tratamiento normal, con o sin adición de PEG-4.000, en una cantidad que equivale a la que tendrían las plantas con valores superiores a los normales. Los resultados, tabla nº 17, muestran que los niveles de impurezas encontrados en el PEG-4.000, no influyen en los resultados del análisis foliar.

Por tanto, no es necesario purificar el PEG-4.000 por diálisis, puesto que los valores de su análisis son análogos a los de LAWLOR(67), y no influyen en los resultados del análisis foliar.

Como hemos visto anteriormente, el PEG-4.000 es una mezcla de polímeros homólogos muy semejantes -

Tabla nº16. Analisis del PEG-4000 a utilizar en los experimentos.

%				ppm			
N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn Zn Al
- 0.0006	0.0239	0.0005	0.0005	.	0.0005	5.3	0.25 ind.

Tabla nº17. Comprobación de la interferencia de las impurezas del PEG-4000 en el análisis foliar.

Muestra	mg PEG-4000 0.5g muestra	%				ppm			
		P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Zn
1	0	0.42	4.0	1.66	0.66	0.060	60	60	78
2	0	0.42	4.0	1.68	0.68	0.060	60	60	80
3	0	0.42	4.0	1.70	0.69	0.060	70	60	79
4	0	0.42	5.0	1.72	0.68	0.059	60	60	79
1	5	0.42	4.0	1.70	0.68	0.059	70	60	77
2	5	0.42	4.0	1.66	0.67	0.056	60	60	77
3	5	0.42	4.1	1.72	0.68	0.059	70	60	80
4	5	0.42	4.0	1.72	0.68	0.056	60	60	80



entre si. Por tanto es necesario comprobar, que las moléculas de PEG-4.000, tienen su peso molecular comprendido entre 3.000 y 4.800, pues así la permeabilidad de las raíces, será menor al haber sólo una mínima parte de moléculas de bajo peso molecular y por tanto mas fácilmente absorbibles.

Para tal comprobación, el PEG-4.000 que utilizamos, se ha pasado por Sephadex g.25 dando como resultado que el 97% de las moléculas son de alto peso molecular.

Por tanto, no es necesaria la purificación - del PEG-4.000 que se va a utilizar.

## 4.4. MEDIDA DE LA PRESION OSMOTICA

Las medidas de la presión osmótica de este trabajo, se realizan con un osmómetro Knauer de presión de vapor que calibramos con NaCl basándonos en el trabajo de LANG(65) a través de las fórmulas:

$$\psi = +2RTm\phi$$

$$\phi = 1 - \frac{\bar{S}_f \sqrt{d_o}}{A^3 m} = \left[ (1+A\sqrt{m}) - 2 \ln(1+A\sqrt{m}) - \frac{1}{(1+A\sqrt{m})} \right] + Bm + Cm^2 + Dm^3$$

siendo:

m= moles de soluto por 1.000 gr. de disolvente.

$\phi$ = coeficiente osmótico.

$\nu = 2$  = nº de iones de una molécula de NaCl

$R = 8,3143 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

$d_o$ = densidad del disolvente

T= temperatura absoluta.

A, B, C, D, = ctes. arbitrarias.

$S_f$ = cte. de Debye-Huckel limiting slope.

La presión osmótica obtenida con esta expresión viene dada en J/Kg., y para pasarlo a atmósferas se divide por 101,3.

Por tanto, aplicando estas fórmulas, obtenemos la presión osmótica en el margen de concentración en que nos interesa movernos. Los resultados de estos cálculos vienen indicados en la tabla nº 18. A conti-

TABLA nº 18. Relación entre molalidad del NaCl y la presión osmótica.

Molalidad	presión osmótica en atm.
0,0125	0,6
0,0250	1,2
0,0375	1,7
0,0500	2,3
0,0750	3,4
0,1000	4,5
0,1250	5,6
0,1500	6,8
0,1750	7,9

nuación se procede a realizar las lecturas de esta serie de soluciones en el osmómetro, resultados que juntamente con los de concentración y presión osmótica de las soluciones, se expresan en la tabla nº 19. De estos

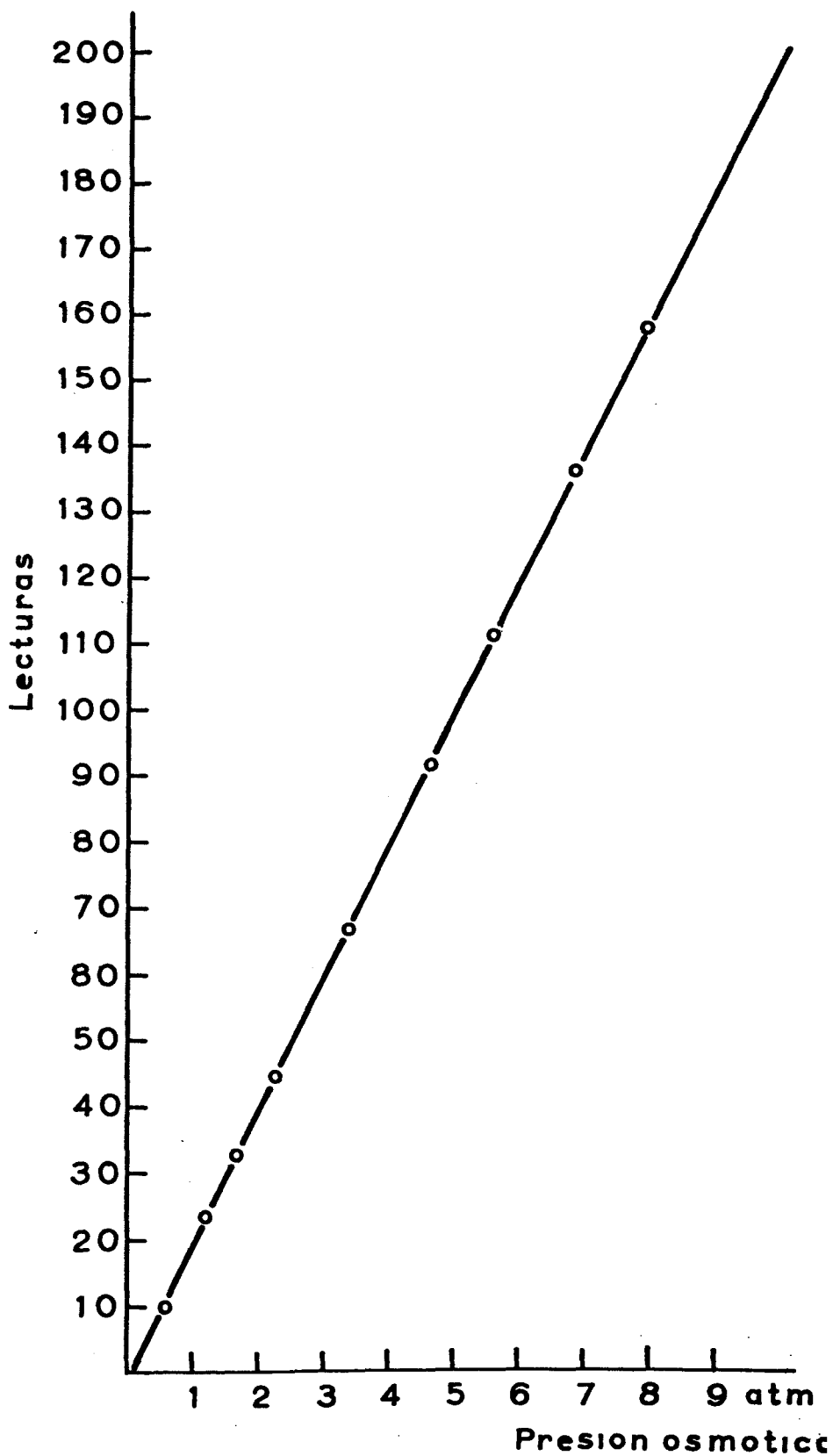
valores, obtenemos la recta de calibrado, fig.nº 20.

TABLA nº 19. Concentración y presión osmótica de soluciones de NaCl en agua y sus lecturas - en el osmómetro.

g/100g H <sub>2</sub> O	*lectura media	presión osmótica en atm.
0,730	10,0	0,6
1,461	24,33	1,2
2,192	33,00	1,7
2,922	45,33	2,3
4,383	67,00	3,4
5,844	92,00	4,6
7,305	112,00	5,6
8,766	137,33	6,8
10,227	159,33	7,9

\* de cuatro observaciones

FIG. 20 - GRAFICA DE CALIBRADO DEL OSMOMETRO.



#### 4.4.1. Presión osmótica de la solución nutritiva con cloruro sódico, sulfato magnésico o PEG-4.000.

Se han efectuado una serie de determinaciones de la presión osmótica de la solución nutritiva base con distintas concentraciones de NaCl, que han dado como resultado los valores que aparecen en la tabla nº 20 y con los cuales se ha obtenido la correspondiente gráfica, fig. nº 21, con la que se puede determinar la presión osmótica de una solución de concentración dada en NaCl. Las lecturas que aparecen en las tablas son el valor medio de 4 lecturas.

Las determinaciones de presión osmótica para distintas concentraciones de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en la solución nutritiva base, dan como resultado los valores que aparecen en la tabla nº 21 y con los cuales se ha obtenido la correspondiente gráfica, fig. nº 22, con la que se puede determinar la presión osmótica de una solución de concentración dada en  $\text{MgSO}_4$ .

Para los tratamientos en los cuales se somete a la planta a soluciones de PEG de distintas presiones osmóticas, fué necesario efectuar con el osmómetro una serie de determinaciones en solución nutritiva base con distinta concentración en PEG-4.000, .

que han dado como resultado los valores que aparecen en la tabla nº 22 y apartir de los cuales se ha obtenido la correspondiente gráfica, fig. nº 23, con la cual es posible determinar la presión osmótica de una solución de concentración dada en PEG-4.000.

TABLA nº 20. Concentración, presión osmótica y lectura en el osmómetro, de la solución nutritiva base con distinta concentración en NaCl.

g/l solución nutritiva	lecturas medias*	presión osmótica en atm.
0,730	16,00	0,8
1,461	28,66	1,5
2,192	41,66	2,1
2,922	55,33	2,8
4,383	78,66	3,9
5,844	104,00	5,2
7,305	128,66	6,4
8,766	154,00	7,7
10,227	175,33	8,7

\* de cuatro observaciones.

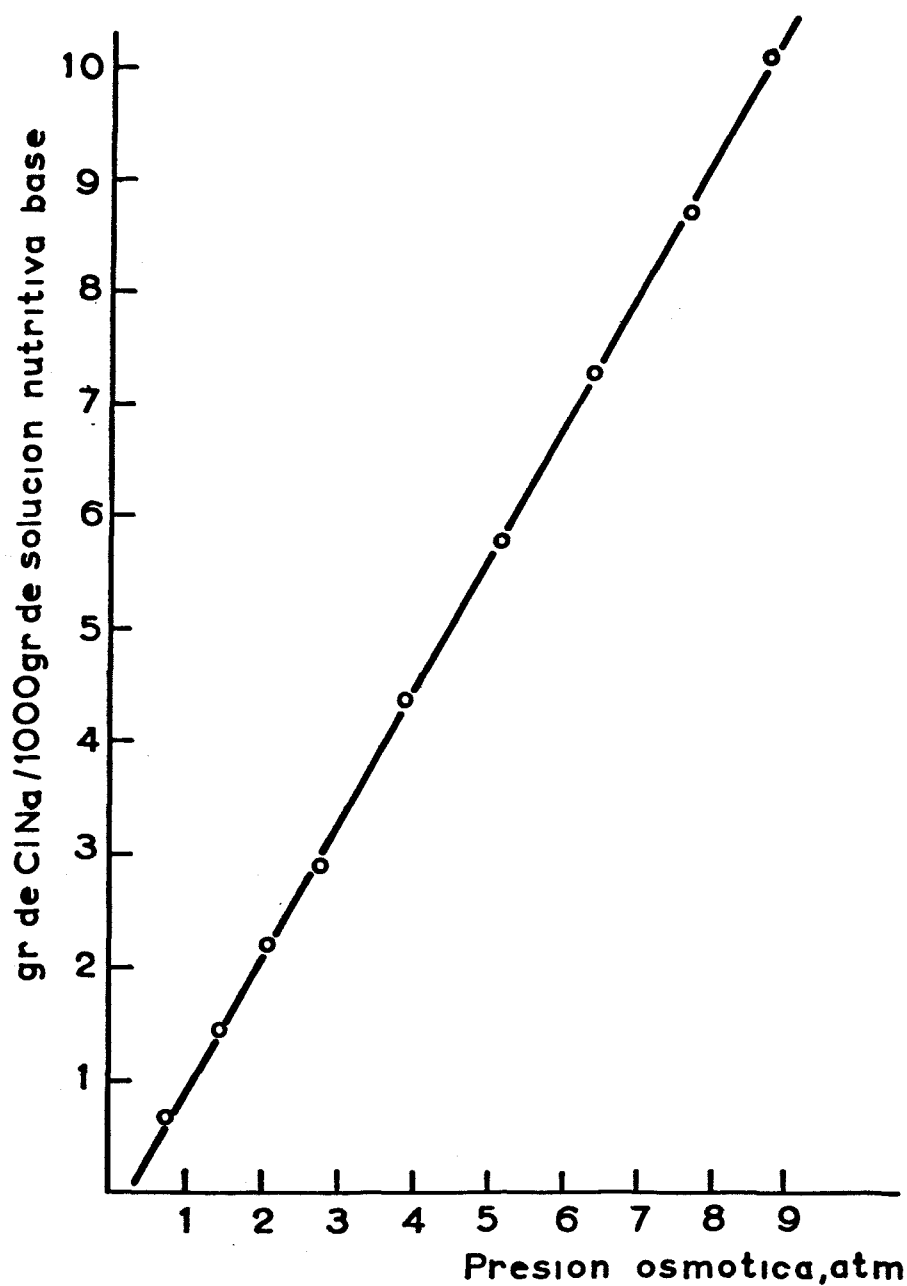


FIG. 21 - RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN OSMÓTICA Y LA CONCENTRACIÓN DE NaCl EN SOLUCIÓN NUTRITIVA BASE.



TABLA nº 21. Concentración, presión osmótica y lectura en el osmómetro de la solución nutritiva base con distinta concentración en  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

gr/l. solución nutritiva.	lecturas medias*	presión osmótica en atm.
4	12,66	0,7
8	22,33	1,2
12	34,33	1,7
20	49,33	2,5
28	65,33	3,3
36	79,33	4,0
44	100,66	5,0
52	116,66	5,8
60	130,00	6,5
68	153,33	7,6

\*de cuatro observaciones.

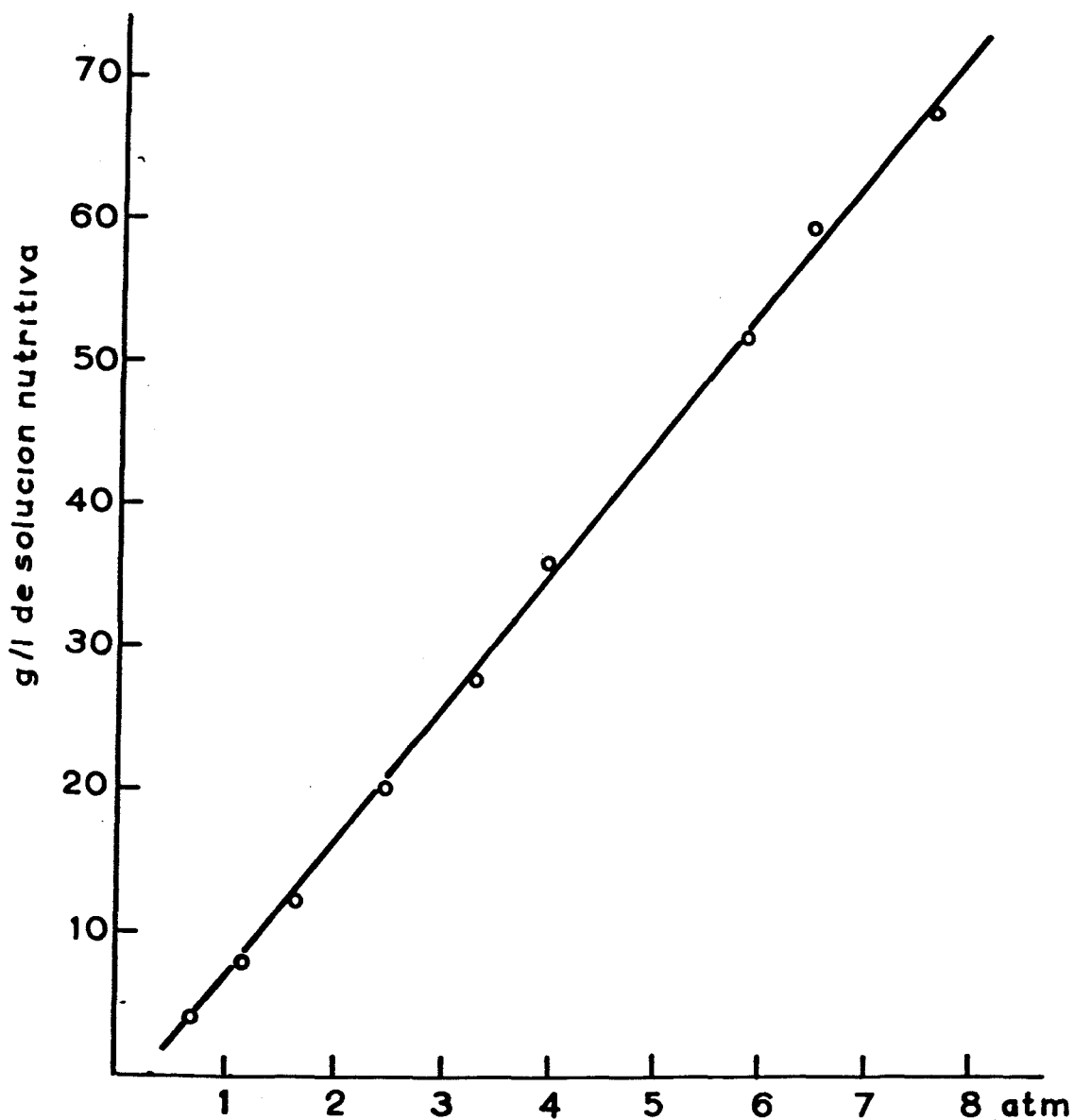


FIG. 22 - RELACIÓN ENTRE LA PRESIÓN OSMÓTICA Y LA CONCENTRACIÓN DE  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  EN LA SOLUCIÓN NUTRITIVA BASE.

TABLA nº 22. Concentración, presión osmótica y lectura en el osmómetro de la solución nutritiva base con distinta concentración en PEG-4.000.

Concentración g en 100 ml.	lecturas medias*	presión osmótica en atm.
2	6,33	0,4
4	14,33	0,8
6	21,33	1,2
8	33,00	1,7
10	44,00	2,2
12	52,66	2,7
14	69,33	3,5
16	84,66	4,2
18	102,33	5,1
20	116,66	5,8
22	128,00	6,4
24	154,00	7,7
26	171,00	8,5
28	197,33	9,8
30	218,66	10,8

\*de cuatro observaciones.

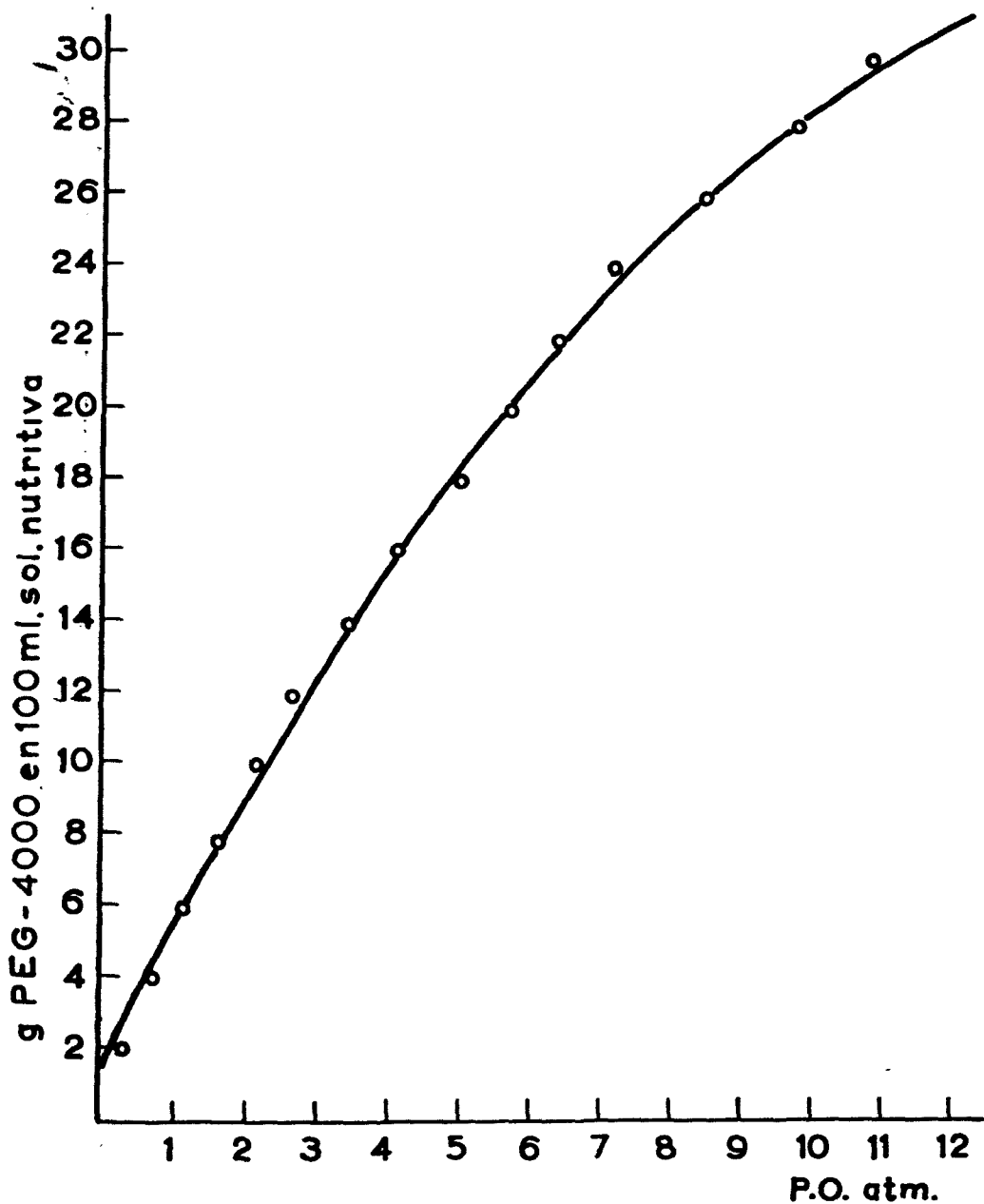


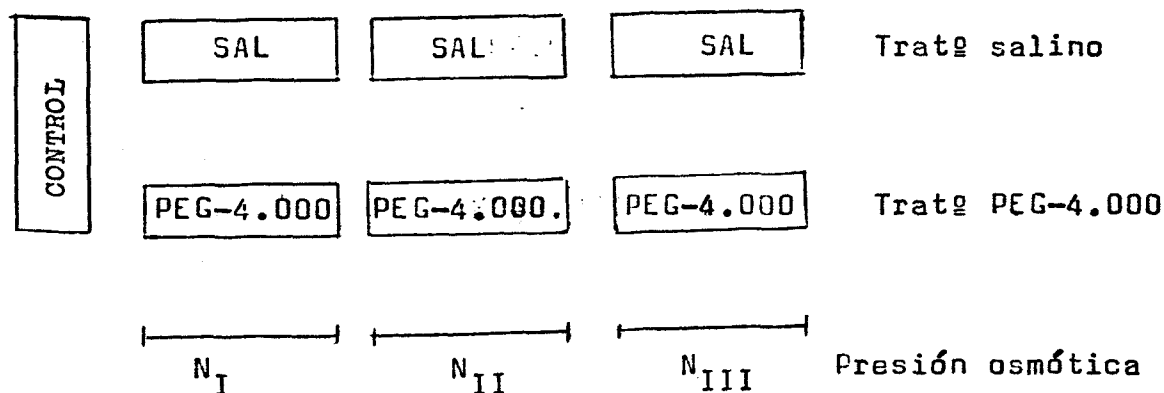
FIG. 23 - RELACIÓN ENTRE LA CONCENTRACIÓN DE PEG-4.000 EN SOLUCIÓN NUTRITIVA BASE Y LA PRESIÓN OSMÓTICA.

#### 4.5. PLANTEAMIENTO EXPERIMENTAL.

En los experimentos de invernadero, se desea estudiar el efecto de la presión osmótica en las plantas de tomate y maíz, aplicándose para ello tres niveles de esta,  $N_I$ ;  $N_{II}$ ;  $N_{III}$ , niveles que se consiguen añadiendo a la solución nutritiva base bien una sal, o bien PEG-4.000. Estos niveles de presión osmótica se eligen de acuerdo con la resistencia y la tolerancia de la planta a las sales.

En el esquema nº 2, queda reflejado el planteamiento de los experimentos.

ESQUEMA nº2. Planteamiento de los experimentos.



Experimento con planta de tomate:

- planta de trabajo: tomate, variedad Marglobe.
- sal utilizada: NaCl
- duración de los tratamientos: 12 días y 6 la repetición.
- niveles de presión osmótica: 3.0; 5.0 y 7.0 atm.
- análisis realizados: Foliar(planta entera) y de contenido de PEG-4.000 en la materia vegetal(3<sup>a</sup> hoja).

Experimento de maíz con  $MgSO_4$ :

- planta de trabajo: maíz híbrido, variedad INIA 8.302.
- sal utilizada:  $MgSO_4$
- duración de los tratamientos: 12 días.
- niveles de presión osmótica: 2.0; 3.5 y 5.0 atm.
- análisis realizados: foliar de la parte aérea, la quinta hoja y la raíz; de savia de la planta entera y los dos primeros entrenudos; y de contenido de PEG-4.000 en la materia vegetal.

Experimento de maíz con NaCl:

- planta de trabajo: maíz híbrido, variedad INIA 8.302
- sal utilizada: NaCl.
- duración de los tratamientos: 12 días.
- niveles de presión osmótica: 2.0; 3.5 y 5.0 atm.

-análisis realizados: foliar de la parte aérea, la quinta hoja y la raíz; de savia de la planta entera y los dos primeros entrenudos; y de contenido de - PEG-4.000 en la materia vegetal.

-Estudio Estadístico.

El planteamiento y el estudio estadístico se realizo de la siguiente forma:

1º-Comparación entre el control, el tratamiento salino y el tratamiento con PEG-4.000 por un modelo jerarquico simple.

2º-Se plantea un factorial mixto sin tener en cuenta el control para la comparación de los tratamientos - entre si.

Este estudio se ha realizado para los resultados del análisis foliar y de savia de la planta de - maíz entera, no pudiendose efectuar en la savia de - los entrenudos debido a que en algunos casos la poca cantidad de muestra hizo necesario el reunir la savia de dos plantas.

## EXPERIMENTO CON PLANTA DE TOMATE



#### 4.6. EXPERIMENTO CON PLANTA DE TOMATE

Se sometió a la planta durante doce o seis días, en el primero o segundo ensayo respectivamente, a presiones osmóticas de 3.5, 5.0 y 7.0 atm. consiguidas por la adición a la solución nutritiva de NaCl o PEG-4.000.

##### 4.6.1. Tratamiento con PEG-4.000, T<sub>1</sub>PEG. Respuesta de la planta a la absorción de PEG-4.000.

A los dos días de empezar el tratamiento - comienza a aparecer en casi todas las plantas una serie de síntomas visuales de evolución muy rápida, de forma que en 36 o 48 horas llega la planta a un estado crítico. En el N<sub>III</sub>, es el primero en que aparecen los síntomas, y afectan a las raíces en todas - las repeticiones como se puede apreciar en la foto nº 6. La parte aérea de estas plantas a los dos días de haber comenzado el tratamiento aparece con síntomas muy acusados de deshidratación y el desarrollo de las mismas queda detenido. Una vez en este estado, la evolución es muy lenta, llegando a secarse las dos primeras hojas al cabo de los doce días que dura el tratamiento.

En el N<sub>II</sub>, aparece una pequeña proporción -

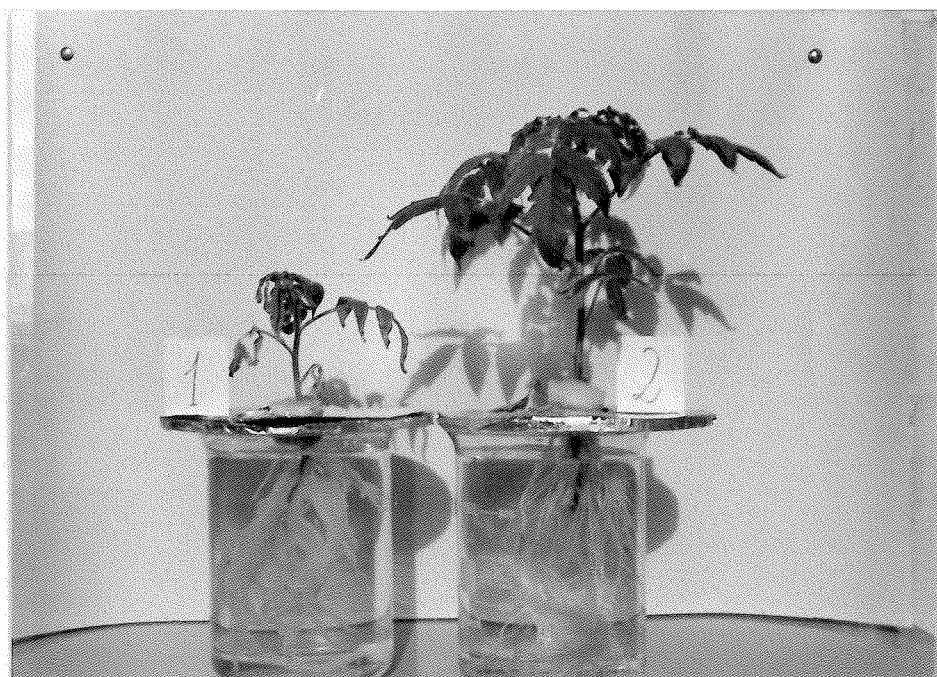


Foto nº6. Comparación entre plantas con absorción y s:  
ella de PEG-4000.

nº1 Con absorción

nº2 Sin absorción

(foto realizada a los 11 días d tratamiento. Duració  
del tratamiento 12 días).

de plantas no afectadas por la concentración de PEG-4.000 aplicada al cultivo. Lo mismo ocurre para el nivel  $N_I$ , si bien no todas las afectadas presentaban las raíces con los síntomas de las del nivel  $N_{III}$ .

Como se puede apreciar en la foto nº 7, los síntomas de absorción de PEG-4.000 para plantas de tomate son:

- Deshidratación de las hojas.
- Color verde mas claro en zonas intervenales de los foliolos durante algunos días.
- Al ir progresando la absorción, aparece el borde de los foliolos mas claro, hasta llegar a secarse por el extremo y a continuación por los bordes. Foto nº 7.
- La aparición de síntomas empieza por las hojas inferiores, continuando luego hacia las superiores y dentro de la hoja, primero por el extremo y luego continua hacia la base.
- Los brotes aparecen verde oscuro grisáceo y la planta deja de crecer, cuando la permeabilidad de las raíces de la planta al PEG-4.000 es muy grande.

Si la permeabilidad de las raíces de la planta es muy baja frente al PEG-4.000, entonces, hacia los diez días de tratamiento, aparecen las puntas de las hojas inferiores necrosadas, pero sin síntomas de marchitamiento.

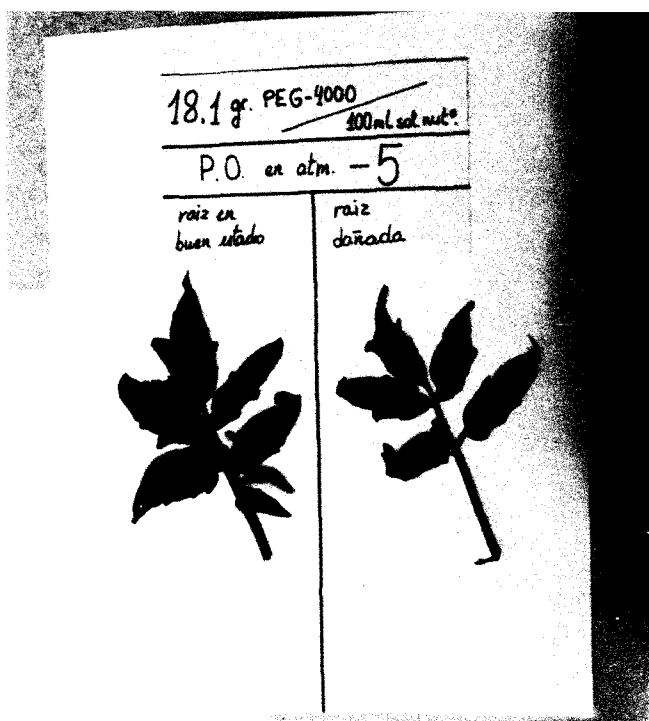


Foto nº7. Sintomas visuales  
de PEG-4000 en tomate.  
(foto realizada a los 11 días de tratamiento). Duración del tratamiento: 11 días.

El contenido de PEG-4.000 en la tercera hoja empezando desde la parte inferior para las plantas de tomate del nivel N<sub>III</sub>, varía entre 3.40 y 7.50 mg PEG-4.000/g. de hoja fresca, lo cual representa valores sumamente altos, puesto que las plantas con un contenido ~~de hasta~~ aproximadamente 1 mg PEG-4.000/g hoja fresca, no presentaban síntomas de toxicidad de PEG, valores que coinciden con los obtenidos por LAWLOR(67) en sus trabajos.

#### 4.6 .2. Tratamiento de NaCl, T<sub>1NaCl</sub>.

El tratamiento con NaCl llevó un proceso normal y a los doce días, ya se apreciaban diferencias notables de desarrollo.

#### 4.6.3. Repetición del experimento con tomates. Resultados y discusión.

Debido a que en el experimento realizado anteriormente las plantas sometidas al T<sub>1PEG</sub>, sufrieron síntomas de toxicidad de PEG, y como esta absorción pudiera haber ocurrido por daños mecánicos a las raíces, como sugiere LAWLOR(67), se replantó nuevamente el experimento, teniendo sumo cuidado en las manipulaciones de las plantas.

Sin embargo, a pesar de haber extremado los cuidados, volvieron a aparecer los mismos síntomas en el nivel  $N_{III}$  y en aproximadamente la mitad de las repeticiones de los otros niveles. Lo cual coincide con los resultados de los contenidos en PEG, de las plantas cultivadas en el tratamiento de PEG-4.000,  $T_{2PEG}$ , tabla nº 23.

La entrada de PEG-4.000 en las plantas en cantidades elevadas, tiene influencia en el contenido mineral de las mismas, como nos indican los resultados de la tabla nº 24 de plantas de tomate, cultivadas en soluciones de 7 atm. de presión osmótica, conseguida por la adición de PEG-4.000. El mayor contenido de PEG en la planta cuando son cantidades elevadas, coincide con un menor contenido en elementos minerales en la misma.

En la tabla nº 25, se indican los resultados de peso húmedo de las plantas, peso seco y % de humedad así como el % de disminución respecto al control. Los resultados del análisis foliar vienen expresados en las tablas nº 26, 27, 28 y 29.

Tabla nº 23. Contenido en PEG-4000 de las plantas usadas en el analisis mineral.

Repeticiones	mg PEG-4000/g hoja		
	N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>
1	0.15*	0.17*	7.50 *
2	ind.*	ind.*	4.29 *
3	0.33*	1.65	6.00
4	0.16*	0.86*	10.20
5	0.40*	ind.*	2.40*
6	0.16*	ind.*	3.00*
7	2.00	3.38	1.38*
8	1.25	6.00	7.80
9	0.98	5.14	3.20*

\*plantas utilizadas en el analisis foliar.

Tabla nº24. Contenido mineral de plantas de tomate con déficit de agua  
 proveniente de PEG-4000.

mg g hoja fresca	%					
	H <sub>2</sub> O	P	K	Ca	Mg	Na
PEG-4000						
8.85	81.1	0.66	5.7	1.5	0.88	0.120
5.69	84.5	0.72	6.3	2.1	0.92	0.160



Tabla nº25. Peso humedo, peso seco, % de H<sub>2</sub>O y sus disminuciones en tanto por ciento respecto al control para la planta de tomate.

Tratamiento Nivel	P.H.	-%ΔPH	P.S.	-%ΔPS	%H <sub>2</sub> O	-%ΔH <sub>2</sub> O
Control	2.91		0.24		91.75	
NaCl						
N <sub>I</sub>	2.36	18.9	0.19	20.8	91.94	-0.21
N <sub>II</sub>	1.29	55.7	0.11	54.2	91.47	0.30
N <sub>III</sub>	1.34	54.0	0.11	54.2	91.79	-0.04
PEG-4000						
N <sub>I</sub>	1.31	55.0	0.12	50.0	90.84	0.99
N <sub>II</sub>	1.01	65.3	0.10	58.3	90.10	1.80
N <sub>III</sub>	0.36	87.6	0.06	74.2	82.78	9.78

P.H.= peso humedo

P.S.= peso seco

Δ = incremento

TABLA nº 26. Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en % en la parte aérea, para la planta de tomate.

Tratamiento	Nivel	%		
		N	P	K
Control		5.2	0.66	5.1
NaCl	N <sub>I</sub>	4.7	0.67	5.3
	N <sub>II</sub>	5.3	0.68	4.5
	N <sub>III</sub>	5.2	0.71	4.1
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	4.7	0.85	6.7
	N <sub>II</sub>	5.1	0.78	6.9
	N <sub>III</sub>	4.6	0.69	6.0

TABLA nº 27. Contenido de calcio, magnesio y sodio en % en la parte aérea para la planta de tomate.

Tratamiento	Nivel	%		
		Ca	Mg	Na
Control		1.95	0.77	0.095
NaCl	N <sub>I</sub>	1.81	0.77	6.70
	N <sub>II</sub>	1.45	0.79	6.90
	N <sub>III</sub>	1.35	0.77	11.36
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	2.14	0.91	0.123
	N <sub>II</sub>	2.04	0.92	0.129
	N <sub>III</sub>	1.75	0.91	0.142

TABLA nº 28. Contenido de hierro, manganeso y zinc en ppm. en la parte aérea para la planta de tomate.

Tratamiento	Nivel	ppm.		
		Fe	Mn	Zn
Control		113	144	76
NaCl	N <sub>I</sub>	148	147	93
	N <sub>II</sub>	178	108	90
	N <sub>III</sub>	144	112	72
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	129	206	131
	N <sub>II</sub>	156	169	110
	N <sub>III</sub>	152	130	108

Tabla nº29. Relaciones mas significativas del analisis foliar de la planta de tomate.

Tratamiento Nivel	R e l a c i o n e s				
	K/Na	K+Ca	Ca+Mg+K	ΣC	ΣA
Control	53.7	7.0	7.8	7.91	5.86
NaCl					1.35
N <sub>I</sub>	0.79	7.1	7.9	14.58	5.37
N <sub>II</sub>	0.65	5.9	6.7	13.64	5.98
N <sub>III</sub>	0.36	5.5	6.4	17.58	5.91
					2.97
PEG-4000					
N <sub>I</sub>	54.6	8.9	9.8	9.87	5.55
N <sub>II</sub>	53.5	8.9	9.8	9.99	5.88
N <sub>III</sub>	42.3	7.7	8.6	8.80	5.29
					1.78
					1.70
					1.69

La actitud de la planta de tomate, frente a la impermeabilidad o permeabilidad de sus raíces - al PEG-4.000, parece que depende de una serie de factores como son: la concentración de PEG-4.000 a que son sometidas, ya que esta viene en función de la presión osmótica y por otro lado, la cantidad de manipulaciones que sufren las raíces, ya que en la repetición del experimento en el  $T_{2PEG}$ , en el que se tuvo un cuidado extremo en el manejo de las plantas, disminuyó un poco el número de las mismas con síntomas de toxicidad debido a la absorción de PEG-4.000. Estos resultados, coinciden con los observados por LAWLOR (34), para plantas de girasol y algodón.

El que aún después de estos cuidados, sigan apareciendo estos síntomas en algunas plantas, puede hacer pensar que, como sugiere MEXAL y col.(25), las burbujas de aire necesarias para la aireación de la solución nutritiva, provoquen posibles daños en las raíces y esto favorezca la absorción de PEG-4.000 por las plantas.

Por otro lado, en el nivel  $N_{III}$ , parece que el factor mas importante es la concentración en PEG-4.000 de la solución nutritiva, puesto que en ambos casos, se produjeron los mismos efectos y en todas -

las repeticiones del nivel, apareciendo las raíces - dañadas como se ve en la foto nº 6. MACKLON y WEATH- RLEY(35), señalan daños en la raíz como una causa im portante del aumento de permeabilidad de las raíces al PEG, si bien en este caso parece que el daño a las raíces lo causa el propio PEG-4.000, como le sucede a JAMES(55) en plantas de pimiento, para niveles de - presión osmótica de 3 y 5 atm.

Como el daño a las raíces aparecía también, aunque en menor proporción, en los niveles  $N_{II}$  y  $N_I$  ( en menor proporción en  $N_I$  que en  $N_{II}$ ), parece probable que además de la concentración de PEG-4.000, existan una serie de factores fisiológicos de las plantas que influyen en el daño a las raíces.

El  $T_{2NaCl}$ , produce una disminución en el peso húmedo respecto al control, tabla nº 25, esta dis- minución para el  $N_I$  es en % de 18.9, mientras que pa- ra el  $N_{II}$  y  $N_{III}$  es análoga y muy superior a la del  $N_I$  resultando ser de un 55%. El  $T_{2PEG}$ , produce también - una disminución en el peso respecto al control, si bien esta es mayor que la producida en el  $T_{2NaCl}$  y se produce escalonadamente con el aumento de la presión osmótica.

Por lo tanto, el efecto osmótico influye no-

tablemente en el peso húmedo, provocando descensos - que incluso en el nivel menor,  $N_I$ , de presión osmótica, alcanza valores superiores al 50%. El efecto específico del NaCl, parece que amortigua la acción del efecto osmótico sobre todo en el nivel  $N_I$ .

Análoga influencia se ejerce sobre el peso seco.

En planta de tomate la elevación de la presión osmótica por la adición al medio nutritivo de - NaCl, no influye en el contenido de agua de la planta. Para el  $T_{2PEG}$ , hay una ligera influencia hasta el  $N_{II}$  es decir<sup>a</sup> una presión osmótica de 5 atm. Según JAMES (54), sucede un comportamiento similar, en plantas de judías cultivadas en soluciones isoosmóticas conseguidas, bien por la adición de NaCl o de PEG-400, a la - solución nutritiva, al pasar del nivel de 4 al de 5 atm. de presión osmótica.

Como se aprecia en la tabla nº 25, el  $N_{III}$  del  $T_{2PEG}$ , adquiere un valor del contenido en agua de la planta de 82.78, lo que representa una disminución del 9.78% respecto al control, este elevado valor, --- puede ser debido al alto contenido en PEG de las plantas, como se aprecia en la tabla nº 24 o también a que frente a esta presión osmótica la planta está sometida



a un stres, ante el cual ya no sea capaz de desarrollar la reacción necesaria, para mantener el contenido de humedad en valores próximos al control, parece probable un efecto conjunto de ambas causas.

En la fig. nº 24, se puede observar que el efecto de la presión osmótica es el mismo en ambos tratamientos, si bien de diferente intensidad.

El análisis foliar, tablas nº 26, 27, 28 y 29, da los resultados que se exponen a continuación:

- El contenido de nitrógeno no varía de un tratamiento a otro, si bien el contenido en el  $N_1$ , es ligeramente inferior al control.
- El contenido en fósforo, practicamente no varia con el  $T_{2NaCl}$ , mientras que es mayor para el  $T_{2PEG}$ , produciéndose el contenido máximo en el  $N_1$  y descendiendo luego con el aumento de la presión osmótica.
- El potasio disminuye al aumentar el nivel de presión para el  $T_{2NaCl}$ , debido a que el contenido de sodio del medio nutritivo es mas elevado al aumentar la presión osmótica. Esta interacción Na/K, también ha sido encontrada por SANCHEZ CONDE(94) en el tomate.

El contenido de K del  $T_{2PEG}$ , es bastante mas elevado que para el control, lo cual coincide con los resultados que obtiene BERNSTEIN(10), con plantas de

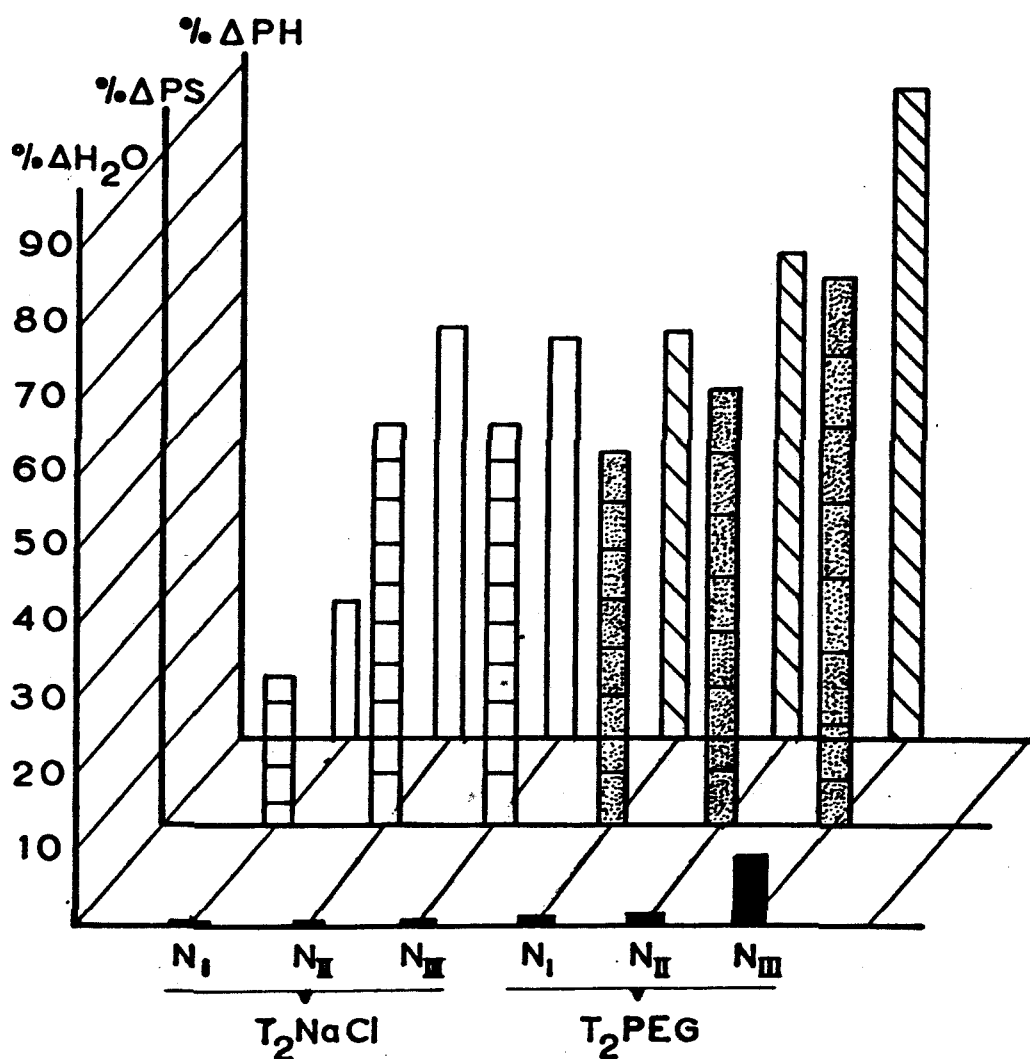


FIG. 24 - REPRESENTACION DEL % DE DISMINUCION EN EL PESO HUMEDO, PESO SECO Y CONTENIDO EN AGUA.

pimiento y judías cultivadas en solución nutritiva, en las cuales esta acumulación de K, que se produce en los primeros días, daba lugar a un aumento de la presión osmótica interna de las plantas, para tratar de equilibrarla al aumento de la presión de la solución nutritiva.

- El contenido de calcio disminuye al aumentar la absorción de sodio por la planta.

- El contenido de sodio en la planta, aumenta con la presión osmótica para el  $T_{2NaCl}$ , debido a la mayor concentración de sodio en el medio nutritivo. Para el  $T_{2PEG}$ , el contenido de sodio es mayor que para el control, y además, aumenta dentro del tratamiento al pasar al  $N_{III}$ , esto produce un valor de la relación K/Na mas bajo que para los niveles  $N_I$  y  $N_{II}$ , donde se conserva en valores análogos al control. Estos resultados no coinciden con los de JAMES(54), para plantas de pimiento y judía donde encuentra que el aumento de la presión osmótica del medio nutritivo por la adición de PEG no influye en el contenido de sodio de estas plantas.

- El contenido de hierro y zinc en el  $T_{2NaCl}$ , adquiere valores superiores al control. En el contenido de manganeso, se observa una ligera disminución respecto

al control en  $N_{II}$  y  $N_{III}$ . Para el  $T_{2PEG}$ , el contenido de hierro aumenta ligeramente en los niveles  $N_{II}$  y  $N_{III}$ . En el zinc y el manganeso, se produce un - fuerte aumento al pasar del control al nivel  $N_I$  y luego se produce una disminución del contenido al aumentar la presión osmótica, llegando en el manganeso a valores análogos al control en  $N_{III}$ , mientras que el zinc conserva aun valores superiores al control.

- El mayor contenido de elementos en las plantas cultivadas en los niveles del  $T_{2PEG}$ , con respecto a los del  $T_{2NaCl}$ , se debe a que la planta necesita aumentar su presión osmótica interna y al no disponer de un catión en grandes cantidades como en el  $T_{2NaCl}$ , estimula la absorción de todos los macroelementos, - sobre todo ~~del~~ potasio, y microelementos.

Los valores mas bajos de fósforo, potasio y calcio que se observan en el  $N_{III}$  del  $T_{2PEG}$ , parece que puedan ser debidos al mayor contenido en PEG-4.000 de estas plantas, puesto que en la tabla nº 24, se observa que al aumentar el contenido en PEG-4.000 en la planta, disminuye tanto el contenido en humedad como el de estos elementos.

Los resultados de la tabla nº 24, se obtuvieron en plantas del mismo nivel de presión osmótica

con distinto contenido en PEG-4.000. Ahora bien, al comparar los resultados de plantas de distinto contenido en PEG-4.000, pero a su vez sometidas a presiones osmóticas diferentes, la disminución puede deberse, como se ha explicado anteriormente, al mayor contenido en PEG-4.000, pero también a la mayor presión osmótica a que está sometida la planta, aunque lo mas probable sea un efecto conjunto.

Las plantas de los niveles  $N_I$  y  $N_{II}$  del  $T_{2PEG}$ , tienen una cantidad menor a 1 mg/g hoja, en PEG-4.000, contenido que no debe tener influencia en la planta por ser valores inferiores a los indicados como tóxicos.

Las relaciones  $\sum K+Ca$  y  $\sum Ca+Mg+K$ , tabla nº29, muestran lo dicho anteriormente, pues en el  $T_{2NaCl}$ , disminuyen debido al aumento del contenido en sodio y en el  $T_{2PEG}$ , aumentan por incrementarse especialmente el contenido en potasio.

El efecto específico del NaCl se acusa perfectamente en el contenido en K ya que no sólo no aumenta como sucede en  $T_{2PEG}$ , sino que adquiere valores inferiores debido a la interacción Na-K.

De los valores de la  $\sum A$ ,  $\sum C$  y  $\sum C/\sum A$ , tabla nº 29, se observa que la presión osmótica, no in

fluye en la  $\Sigma A$ , pero si lo hace en la  $\Sigma C$  aumentándola respecto al control. Por tanto, el efecto osmótico y específico tienen la misma acción, si bien la del efecto específico del NaCl es mayor debido al mayor contenido en sodio de la planta.

La relación  $\Sigma C/\Sigma A$ , es mayor que en el control para ambos tratamientos.

El análisis de cloruros no pudo realizarse por no disponer de muestra suficiente.

EXPERIMENTOS CON PLANTA DE MAIZ.

Para llegar a conclusiones fidedignas en experimentos con vegetales, hay que conocer perfectamente la planta con la que se va a trabajar.

Hemos utilizado la planta de maíz en numerosos experimentos con tratamientos de sustancias minerales. Sin embargo el comportamiento de esta planta, frente a soluciones que contengan PEG-4.000, no se encuentra reflejado claramente en la bibliografía existente sobre el tema, por lo cual consideramos necesario efectuar el estudio de los síntomas que se manifiesten en el maíz, en plantas que no van a absorber el PEG-4.000, y en otras ya preparadas, para que esta absorción se pueda realizar con facilidad.



#### 4.8. SINTOMAS DE TOXICIDAD DE PEG-4.000 EN PLANTAS DE MAIZ.

Para conocer los síntomas visuales de absorción de PEG-4.000 por la planta de maíz, se realizó un experimento en el cual plantas con raíces intactas o dañadas mecánicamente, por corte de aproximadamente un tercio de ellas, se sometían a una misma presión osmótica. Se estudiaron dos niveles de presión osmótica, de 2.0 y 3.5 atm. conseguidos por la adición a la solución nutritiva base de PEG-4.000. Se llevan dos controles, uno con las raíces intactas y otro con las raíces dañadas por corte de un tercio de ellas.

A las dos horas de iniciado el experimento, que se realiza con plantas de siete hojas, las plantas con raíces cortadas del nivel de 3.5 atm. aparecen con las hojas deshidratadas y transcurridas cuatro horas, también ocurre esto en el nivel de 2.0 atm. de presión osmótica. Sin embargo, para las plantas de estos dos mismos niveles pero sin raíces cortadas, sólo se aprecian ligeros síntomas de stres de agua.

Durante el experimento, las plantas del control con raíces dañadas, no presentaron distinto comportamiento que las del control con raíces intactas.

A las 24 horas, en el nivel de 3.5 atm. el deshidratamiento era muy intenso para plantas con -- raices cortadas, apareciendo las hojas abarquilladas como se aprecia en la foto n° 8, mientras que en las plantas con raices intactas, no habia síntomas de absorción de PEG-4.000. En el nivel de 2.0 atm. de presión osmótica ocurre lo mismo, aunque los síntomas - de absorción de PEG-4.000, eran algo menos intensos en las plantas con raices cortadas.

Un síntoma de absorción de PEG-4.000, aparece en la foto n° 9. Consiste en que comienza a aparecer primero por el extremo y luego por los bordes y por los espacios intervenales de las hojas, un color verde mas claro que el resto de la hoja, quedándose la parte afectada sin brillo.

Al ir avanzando los síntomas de absorción, comienzan a aparecer zonas necróticas, primero por el extremo de la hoja y posteriormente por los bordes, - progresando desde el extremo a la base de la hoja.

El experimento duró cuatro días, al cabo de los cuales, las plantas con raices intactas no presentaban ningún síntoma de absorción de PEG-4.000.

Por tanto, los síntomas de absorción de PEG-4.000 para planta de maíz son:



to nº 3. Sintomas de absorción de PEG-4000



Foto nº9. Síntomas visuales de PEG-4000 en maíz.

- Deshidratación de las hojas.
- Color verde mas claro y sin brillo en el extremo, bordes y en las zonas intervenales.
- Al ir progresando la absorción, aparecen zonas necróticas en el extremo de la hoja y luego en los bordes, progresando hacia la base de la hoja.
- Los síntomas de absorción empiezan por las hojas inferiores, continuando luego hacia las superiores.
- Las plantas dejan de crecer cuando la permeabilidad de las raíces es muy grande. (Como ocurre al cortar las raíces).

EXPERIMENTO DE MAIZ CON  $\text{MgSO}_4$

#### 4.9. EXPERIMENTO DE MAIZ CON $\text{MgSO}_4$

Se sometió a la planta, durante doce días a presiones osmóticas de 2.0, 3.5 y 5.0 atm. conseguidas por la adición a la solución nutritiva de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  o PEG-4.000.

##### 4.9.1. Fraccionamiento de la planta en diferentes partes para su análisis.

En el tratamiento de PEG-4.000 se controla el contenido del mismo en la planta mediante su determinación en la quinta hoja empezando a contar desde la parte inferior de la planta. Al mismo tiempo, se ha realizado el análisis de savia de los dos primeros entrenudos, por lo cual se han suprimido estas dos partes de la planta en todo el material utilizado, con objeto de partir de material uniforme para que los resultados sean comparables. Por tanto, a la parte aérea de la planta sin la quinta hoja y sin los dos primeros entrenudos la denominamos parte aérea en el análisis foliar y planta entera en el análisis de savia.

##### 4.9.2: Contenido en PEG-4.000 de las plantas del trata- miénto de PEG-4.000, $M_{1\text{PEG}}$ .

Las plantas del  $M_{1\text{PEG}}$ , no presentan síntomas

de absorción de PEG-4.000, ni las raíces sufren daño alguno. Lo cual queda confirmado por el análisis del contenido en PEG-4.000, que se reseña en la tabla nº 30, quedando de esta manera asegurado el comportamiento del PEG-4.000 como agente osmótico.

#### 4.9.3. Resultados y discusión del análisis foliar.

En las tablas nº 31 y 32, figuran los resultados de peso húmedo, peso seco y % de humedad y sus % de disminución respecto al control para la parte aérea, la quinta hoja y la raíz. En las tablas nº 33 a la 37, figuran los resultados del análisis foliar de la planta entera y en las tablas nº 38 y 39 los resultados del análisis foliar para la quinta hoja y para la raíz.



TABLA nº 30. Contenido de PEG-4.000 en las plantas de  $m_{1PEG}$ .

Nivel de presión osmótica	plantas utilizadas en el análisis foliar.	plantas utilizadas en el análisis de savia.
	* PEG(mgr/gr. peso fresco)	
$N_I$	0.08	0.04
$N_{II}$	0.33	0.26
$N_{III}$	0.89	0.81

\*Los datos son el valor medio de las cuatro repeticiones.

Tabla nº31. Peso humedo, peso seco, % de H<sub>2</sub>O y sus incrementos en tanto por ciento respecto al control para la parte aerea en planta de maiz.

Tratamiento Nivel	PH	-%ΔPH	PS	-%ΔPS	%H <sub>2</sub> O	-%ΔH <sub>2</sub> O
Control	137.0		13.15		90.29	
MgSO <sub>4</sub>	N <sub>I</sub>	94.3	31.17	11.52	12.40	87.77
	N <sub>II</sub>	78.7	42.55	11.17	15.06	85.88
	N <sub>III</sub>	59.3	56.71	8.79	33.16	85.16
PEG-4000	N <sub>I</sub> c	92.5	32.48	9.58	27.15	90.16
	N <sub>II</sub>	38.0	72.26	3.75	71.48	90.13
	N <sub>III</sub>	33.9	75.26	3.50	73.38	88.57
						1.90

PH= peso humedo

PS= peso seco

Δ= incremento

Tabla nº32. Peso humedo, peso seco, % de H<sub>2</sub>O y sus incrementos en tanto por ciento respecto al control para la quinta hoja y la raíz de la planta de maíz.

Organo	Tratamiento	Nivel	PH	-%ΔPH	PS	-%ΔPS	%H <sub>2</sub> O	-%ΔH <sub>2</sub> O
5ª hoja	Control		7.85		0.91		88.44	
		MgSO <sub>4</sub>						
		N <sub>I</sub>	8.20	-4.46	1.22	-34.06	85.12	3.75
		N <sub>II</sub>	7.70	1.91	1.19	-30.77	84.55	4.40
		N <sub>III</sub>	6.55	16.56	1.06	-16.48	83.90	5.13
raíz	Control		46.9		2.64		94.07	
		MgSO <sub>4</sub>						
		N <sub>I</sub>	32.6	30.49	2.41	8.71	92.64	1.52
		N <sub>II</sub>	22.0	53.09	1.90	28.03	90.91	3.36
		N <sub>III</sub>	21.5	54.16	2.12	19.70	90.37	3.93

PH=peso humedo; PS= peso seco; Δ=incremento

TABLA nº 33. Contenido en % de nitrógeno, fósforo y azufre de la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	%			
		N	P	S( $\text{SO}_4^{=}$ )	S
Control		3.4	0.64	0.07	0.19
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	N <sub>I</sub>	3.0	0.47	0.23	0.35
	N <sub>II</sub>	2.9	0.40	0.27	0.46
	N <sub>III</sub>	3.0	0.48	0.37	0.58
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	3.4	0.68	0.05	0.18
	N <sub>II</sub>	4.3	1.06	0.06	0.23
	N <sub>III</sub>	4.2	0.72	0.05	0.23

LSD<sub>N</sub> 5%=0.28  
1%=0.39

LSD<sub>P</sub> 5%=0.12  
1%=0.16

LSD<sub>S</sub> 5%=0.06  
1%=0.08

LSD<sub>S( $\text{SO}_4^{=}$ )</sub> 5%=0.05  
1%=0.06

LSD<sub>CN</sub> 5%=0.29  
1%=0.39

LSD<sub>CP</sub> 5%=0.12  
1%=0.16

LSD<sub>CS</sub> 5%=0.03  
1%=0.04

LSD<sub>CS( $\text{SO}_4^{=}$ )</sub> 5%=0.06  
1%=0.09

TABLA n234. Contenido en % de potasio, calcio, magnesio y sodio de la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	%			
		K	Ca	Mg	Na
Control		4.3	0.34	0.32	0.004
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>I</sub>	3.4	0.21	0.75	0.004
	N <sub>II</sub>	3.2	0.16	0.83	0.003
	N <sub>III</sub>	3.4	0.21	0.96	0.003
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	5.2	0.43	0.33	0.004
	N <sub>II</sub>	6.8	0.60	0.49	0.004
	N <sub>III</sub>	6.0	0.50	0.44	0.004

LSD<sub>K</sub> 5%=0.49  
1%=0.67

LSD<sub>Ca</sub> 5%=0.06  
1%=0.09

LSD<sub>Mg</sub> 5%=0.07  
1%=0.10

LSD<sub>CK</sub> 5%=0.45  
1%=0.61

LSD<sub>CCa</sub> 5%=0.06  
1%=0.09

LSD<sub>CMg</sub> 5%=0.06  
1%=0.09

LSD<sub>CNa</sub> 5%=0.0008  
1%=0.0010

TABLA nº 35. Contenido en ppm. de hierro, manganeso y zinc en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	ppm.		
		Fe	Mn	Zn
Control		65	104	72
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>I</sub>	47	95	69
	N <sub>II</sub>	51	92	74
	N <sub>III</sub>	56	100	82
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	64	147	81
	N <sub>II</sub>	70	249	146
	N <sub>III</sub>	86	297	266

LSD<sub>Mn</sub> 5%=64  
1%=87

LSD<sub>Zn</sub> 5%=52  
1%=72

LSD<sub>CFe</sub> 5%=16  
1%=22

LSD<sub>CMn</sub> 5%=60  
1%=82

LSD<sub>CZn</sub> 5%=49  
1%=68

TABLA nº 36. Suma de cationes, suma de aniones y cationes/aniones en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	Relaciones		
		$\Sigma A$	$\Sigma C$	$\Sigma C / \Sigma A$
Control		4.23	4.96	1.17
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>I</sub>	3.82	4.36	1.14
	N <sub>II</sub>	3.76	4.19	1.11
	N <sub>III</sub>	4.06	4.57	1.12
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	4.26	5.96	1.40
	N <sub>II</sub>	5.59	7.89	1.41
	N <sub>III</sub>	5.15	6.94	1.35

Tabla nº37. Relaciones mas significativas del analisis foliar en la parte aerea de la planta de maiz.

Tratamiento Nivel	R e l a c i o n e s			
	K/Mg	K+Na/Mg+Ca	$\text{NO}_3^- + \text{PO}_4^{3-} / \text{Mg}$	Microelementos
Control	13.4	6.5	11.6	241
$\text{MgSO}_4$	N I	4.5	3.5	211
	N II	3.9	3.2	217
	N III	3.5	2.9	238
PEG-4000	N I	15.7	6.8	292
	N II	13.9	6.2	465
	N III	13.6	6.4	649



TABLA n<sup>o</sup> 38. Contenido en macroelementos(%) y microelementos(ppm.) en la 5<sup>a</sup> hoja.

	Control	Tratamiento		
		$MgSO_4 \cdot 7H_2O$		
		N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>
P	0.56	0.36a	0.33a	0.34a
K	4.8	3.3a	3.1a	3.1a
Ca	0.50	0.23	0.16a	0.17a
Mg	0.38	0.87a	1.10a	1.37
Na	0.011a	0.010a	0.011a	0.010
Fe	137	86a	104b	101ab
Mn	190	143a	122a	122a
Zn	110	93a	86a	101a

En una misma línea las diferencias no seguidas de la misma letra son significativas al nivel de probabilidad del 5%.

TABLA nº 39. Contenido en macroelementos(%) y microelementos(ppm.) en la raíz.

		Tratamiento		
		MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O		
		N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>
	Control			
N	3,3 a	3,5a	3,2a	3,5a
P	2,64	1,61	0,92a	0,76a
K	4,5a	4,0a	4,2a	3,8a
Ca	0,78	0,56	0,32a	0,31a
Mg	0,51	0,91b	1,07ab	1,14a
Na	0,038a	0,064	0,053	0,043a
Fe	1.225a	1.500ab	1.812bc	2.137c
Mn	411a	566a	587a	564a
Zn	123a	146a	202a	246a

En una misma línea las diferencias no seguidas de la misma letra son significativas al nivel de probabilidad del 5%.

Consideraciones sobre el peso húmedo, peso seco y % de humedad.

La influencia de la presión osmótica sobre el desarrollo de la planta de maíz en sus primeros estados vegetativos, queda claramente patente en el  $M_{1PEG}$ , tabla nº 31, donde se aprecia la marcada disminución del peso de la parte aérea de las plantas, a medida que aumenta la presión osmótica, sobre todo el efecto es máximo al pasar del contro al nivel  $N_I$  y de este nivel al nivel  $N_{II}$ .

En el tratamiento de  $MgSO_4$ ,  $M_{1MgSO_4}$ , también se acusa en el peso de la parte aérea, ya que estos son menores al control, disminuyendo progresivamente al aumentar la presión osmótica, si bien esta disminución es menor que en el caso en que se manifiesta solamente la acción del efecto osmótico ---- ( $M_{1PEG}$ ) sobre la planta, es decir, el efecto específico del  $MgSO_4$  amortigua la disminución que provoca en el peso el efecto osmótico a partir del nivel  $N_I$ .

Esta disminución en el peso de la planta, se puede observar visualmente por su menor desarrollo, fotos nº 10 y 11.

Considerando el tanto por ciento de dismi-



Foto nº10. Desarrollo de las plantas del tratamiento de sulfato magnésico frente al control.



Foto nº11. Desarrollo de las planta.

tratamiento

de PEG-4000 frente al control.

nución de peso húmedo respecto al control ( $-\% \Delta$ ), fig. nº 25, se observa perfectamente que en ambos tratamientos aumenta con la presión osmótica, si bien para el  $M_{1PEG}$  los aumentos son mayores. Análogo comportamiento se sigue al considerar los pesos secos.

Los datos de humedad (% de contenido en agua), tabla nº 31, indican un menor contenido para el  $M_{1MgSO_4}$ , que para el  $M_{1PEG}$ . Esto es debido a que si bien la planta en el  $M_{1MgSO_4}$ , dispone de un catión que puede absorber rápidamente para aumentar de este modo su presión osmótica interna, la acumulación de este catión, puede originarle efectos que provoquen su pérdida de hidratación, como podemos ver en la foto nº 12, en una planta del nivel  $N_{III}$ , donde se aprecia el abarquillamiento de las hojas por deshidratación.

En el  $M_{1PEG}$ , la planta no tiene la opción de aumentar su presión osmótica interna por acumulación de un catión abundante en el medio, pero sin embargo, para hacer frente a este aumento de presión osmótica del medio de cultivo, la planta acumula gradualmente otros solutos de la solución, según se aprecia al observar los resultados del análisis fo-

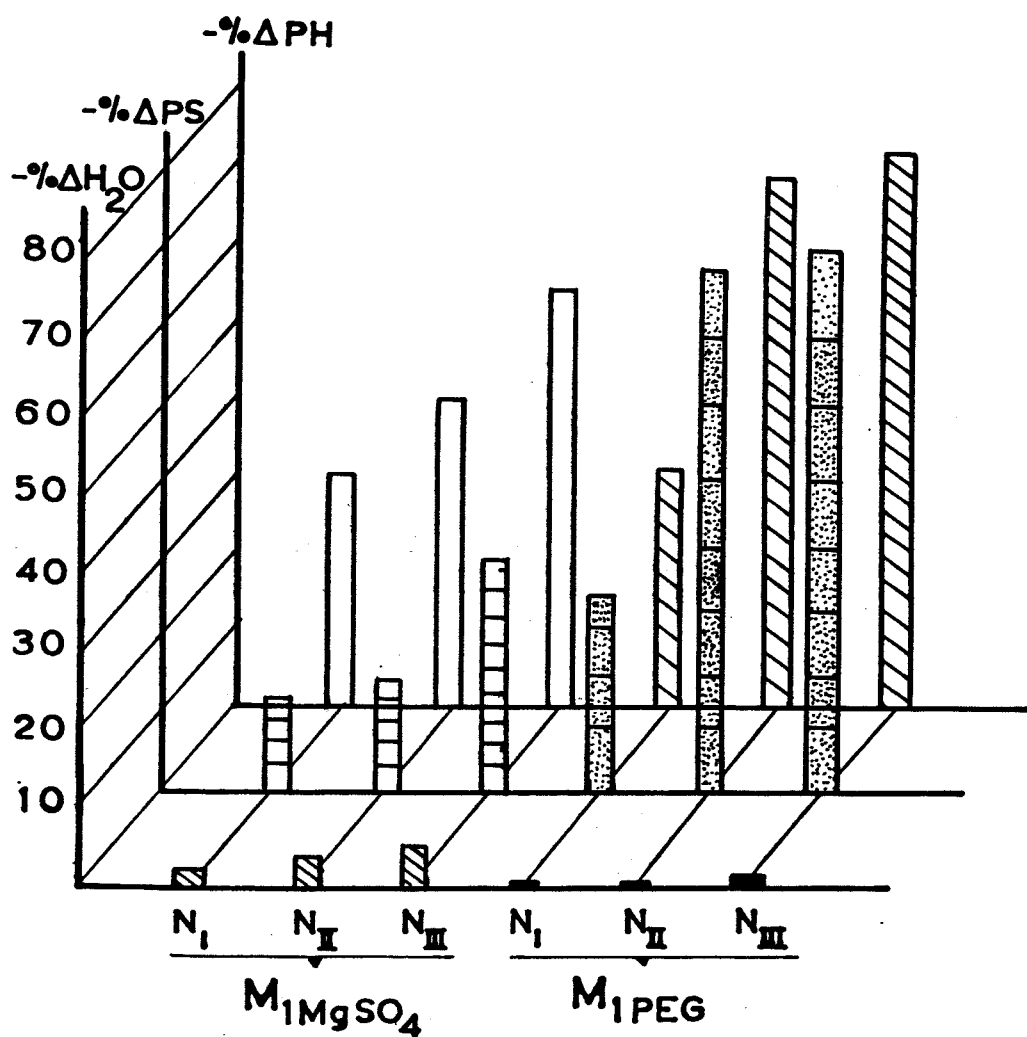


FIG. 25 - REPRESENTACIÓN DEL % DE DISMINUCIÓN EN EL PESO HÚMEDO, PESO SECO Y CONTENIDO EN AGUA.



Foto nº12. Planta con síntomas característicos de salinidad.



liar. Lo cual coincide con la teoría de SLATYER(100).

Al comparar con el control las plantas del  $M_{1MgSO_4}$ , tienen menor contenido en agua y este disminuye al aumentar la presión osmótica de la solución nutritiva.

Las plantas del  $M_{1PEG}$ , tienen practicamente el mismo contenido en agua que el control en los niveles  $N_I$  y  $N_{II}$  mientras que en el  $N_{III}$ , disminuye respecto al control.

La disminución en el peso y en la humedad al aumentar la presión osmótica de la solución nutritiva, también se produce en la 5ª hoja y en la raíz en el  $M_{1MgSO_4}$ , tabla nº 32.

Así pues, el aumento de la presión osmótica provoca una disminución en el peso húmedo, peso seco y contenido en agua de la planta, Produciendo el efecto osmótico un menor desarrollo de la planta, pero con un contenido en agua próximo al control. Mientras que, el efecto específico del  $MgSO_4$ , produce una disminución clara en el contenido de agua.

En al fig. nº 25, se observa que con el aumento de la presión osmótica, ambos tratamientos provocan la misma tendencia aunque con distinta intensidad.

### Consideraciones sobre el análisis foliar de la parte aérea.

En el  $M_{1MgSO_4}$ , el contenido de nitrógeno en la planta, tabla nº 33, ~~es menor~~ que para el control y no varía con el aumento de la presión osmótica de la solución nutritiva, mientras que, en el  $M_{1PEG}$ , el contenido de nitrógeno aumenta con la presión osmótica desde el nivel  $N_I$  al  $N_{II}$ . Este aumento del contenido de nitrógeno respecto al control, también ha sido encontrado por SANDS y CLARKE(98), en plantas de pino sometida a un aumento de la presión osmótica de la solución nutritiva por adición de PEG-4.000.

El comportamiento del fósforo en el  $M_{1MgSO_4}$ , es análogo al del nitrógeno, y para el  $M_{1PEG}$ , aumenta con la presión osmótica hasta el nivel  $N_{II}$ , a partir del cual descende.

El azufre, ~~que se encuentra~~ en la tabla nº 33, expresado como azufre total, S, y como azufre procedente de sulfatos  $S(SO_4^{=})$ , aumenta con la presión osmótica en el  $M_{1MgSO_4}$ , debido a que este aumento en la presión osmótica de la solución nutritiva, se consigue con sulfato magnésico.

El menor contenido en nitrógeno y fósforo -

para el  $M_{1MgSO_4}$ , respecto al control comentado anteriormente, influye mas que el aumento de azufre, lo cual produce una disminución en el contenido de aniones respecto al control, tabla nº 36.

El contenido en potasio es muy diferente - de un tratamiento a otro. En el  $M_{1MgSO_4}$ , la aplicación de magnesio produce una interacción entre este - elemento y el potasio, obteniéndose plantas con menor contenido en potasio que el control. Ahora bien, no se observa la disminución indicada por IGNATIEFF y PAGE (50), como si las dosis de magnesio aplicadas a partir del primer nivel de presión osmótica, no fueran suficientes para seguir aumentando la interacción. Efectivamente, se ha pasado de absorber 0.32% de Mg en el control a 0.75% en el  $N_I$ , pero después este aumento es sólo a 0.83 y 0.96%.

Sin embargo, en el  $M_{1PEG}$ , el contenido en potasio es bastante mayor que para el control y aumenta con los demás macronutrientes hasta el nivel  $N_{II}$ . Este aumento en el contenido de potasio, coincide con los resultados de BERNSTEIN(10) para plantas judía y pimiento, JAMES(54), también para plantas de judía y pimiento, y los de SANDS y CLARKE(97), para plantitas de pino. Estos autores, conseguían el aumento de pre-

sión osmótica de la solución nutritiva por adición - de NaCl en el caso de BERNSTEIN, o bien por la adición de PEG-400 o PEG-4.000 en los trabajos de JANES y SANDS y CLARKE, respectivamente.

Considerando los datos del contenido de potasio, expresados como tanto por ciento de elemento respecto a la suma de cationes (  $K\% \Sigma C$  en control 86.6 en  $N_I$  87.2 en  $N_{II}$  86.1 y en  $N_{III}$  86.4) indican, que si bien se ha producido un aumento en el contenido de potasio, este es de tal magnitud que hace que la proporción de este elemento frente a la suma de - cationes, se mantenga en valores semejantes al con-  
torl.

Para el calcio en el  $M_{MgSO_4}$ , se observa una disminución respecto al control, esta disminu-  
ción se puede atribuir posiblemente al aumento del contenido en magnesio.

En el  $M_{PEG}$ , hay un aumento de calcio en la planta se corresponde con la presión osmótica ha-  
ta el nivel  $N_{II}$ .

También el contenido de magnesio del  $M_{PEG}$ , aumenta respecto al control. Este aumento hace que la relación K/Mg, tabla nº 37, se conserve con valores análogos a los del control, si bien para el  $N_I$  el va-  
lor es algo mas elevado, debido a que en este nivel

del  $M_{1PEG}$ , no se produce un aumento en la absorción de magnesio.

El aumento de la presión osmótica en el  $M_{1PEG}$ , no tiene influencia en la concentración de sodio, o sea, el efecto osmótico no tiene influencia en el contenido de sodio. Estos resultados coinciden con los obtenidos por JAMES(54), en plantas de pimiento y judía.

Respecto al contenido de microelementos, resalta el aumento en el contenido de manganeso que se produce para el  $M_{1PEG}$ , al elevarse la presión osmótica.

Las necesidades de manganeso para el maíz son relativamente bajas en comparación con otros cultivos tejidos de plantas deficientes contienen generalmente menos de 25 ppm, a pesar de esto se han encontrado altas concentraciones de manganeso en plantas carcanas a la madurez, siendo tóxicos niveles superiores a 400 ppm en los tejidos de maíz, OLSON y LUCAS(89). Por tanto, los 297 ppm. del  $N_{III}$ , no producen toxicidad como se comprueba por el aspecto de las plantas. También aumenta el contenido de zinc con la presión osmótica en el  $M_{1PEG}$ . Estos aumentos provocan una -

elevación notable en el contenido total de microelementos para el  $M_{1PEG}$ , respecto al control, tabla nº 37.

Por tanto, existe un diferente comportamiento de la planta con respecto a la absorción de elementos a presiones osmóticas iguales obtenidas por  $M_{1MgSO_4}$  o  $M_{1PEG}$ .

En el tratamiento salino, se produce una disminución en la absorción de elementos con el aumento de la presión osmótica, esta diferencia radica en los datos del control y el nivel  $N_I$ , pues con presiones osmóticas mas elevadas obtenidas con sulfato magnésico no se produce menos absorción de elementos que para el nivel  $N_I$ . Esta disminución se produce tanto en el contenido de aniones como en el de cationes tabla nº 36, conservándose la relación  $\Sigma C / \Sigma A$  en valores análogos al control.

El contenido de magnesio, es el único que aumenta con el incremento de la presión osmótica, ya que este se consigue por la adición de sulfato magnésico.

La interacción del magnesio con el calcio

y el potasio se manifiesta para todos los niveles. así mismo, las relaciones de: cationes monovalentes/ cationes divalentes,  $\text{NO}_3^- + \text{PO}_4^{3-}/\text{Mg}$  y  $\text{K}/\text{Mg}$ , disminuyen respecto al control, con el aumento de la presión osmótica, para el  $\text{M}_{1\text{MgSO}_4}$ , tabla nº 37.

En el  $\text{M}_{1\text{PEG}}$ , en general se produce un aumento del contenido en elementos con la presión osmótica, resultados que quedan reflejados en la suma de aniones y cationes, tabla nº 36; estos resultados concuerdan con los obtenidos para plantitas de pino por SANDS y CLARKE(97). Hagamos la observación de que es en  $\text{N}_{\text{II}}$ , donde generalmente se produce el máximo contenido.

El que las plantas cultivadas en el  $\text{N}_{\text{III}}$ , tengan un contenido de elementos menor, pudiera tal vez explicarse debido a que ese aumento de la presión osmótica exterior, aumenta el estrés a niveles, donde la reacción de la planta para aumentar su presión osmótica interna por medio de absorción de nutrientes, esté mas impedida que en los niveles de presión osmótica inferior.

Se deduce pues, que el efecto osmótico hace aumentar el contenido en elementos minerales, mientras que este efecto osmótico queda enmascarado por el ---

efecto específico del  $\text{MgSO}_4$ .

Es notable el gran aumento en la absorción de potasio en el  $\text{M}_{1\text{PEG}}$ ; debido a que el aumento en el contenido en cationes, es algo mayor que el de -- aniones, la relación  $\Sigma C / \Sigma A$ , adquiere valores mas altos que para el control.

### Consideraciones del análisis foliar de la quinta hoja y la raíz.

La tendencia que experimentan los macroelementos en la 5ª hoja, es la misma que en la parte aérea, si bien los contenidos en fósforo, tabla nº 38, son ligeramente inferiores y los de magnesio ligeramente superiores. Para los microelementos, la tendencia que se sigue es la misma que en la parte aérea, aunque los valores absolutos son superiores.

Los resultados del análisis mineral de la raíz en el  $\text{M}_{1\text{MgSO}_4}$ , tabla nº 39, muestran una disminución en el contenido del fósforo con el aumento de la presión osmótica, siendo sobre todo notable en el nivel  $\text{N}_{\text{III}}$ , respecto al control. El calcio también -- disminuye respecto al control, debido a su interacción con el magnesio, si bien los niveles de magnesio que se alcanzan en  $\text{N}_{\text{III}}$ , no deben ser suficiente para



continuar aumentando la interacción.

Con respecto a los microelementos, destaca el aumento de contenido en hierro que experimenta la raíz, al aumentar la presión osmótica externa.

#### 4.9.4. Resultados y discusión del análisis de savia.

En las tablas nº 40 a 47 se encuentran los resultados del análisis de savia para la planta entera y los entrenudos.

##### Fracción nitrogenada.

En  $M_{1MgSO_4}$  se observa una fuerte disminución del contenido de  $N(NO_3^-)$  frente al control, esta disminución se observa tanto en los resultados del análisis de la planta entera, como en el de los entrenudos. Según ROUT CHENKO (91) valores particularmente bajos del  $N(NO_3^-)$ , si los niveles de nitrógeno orgánico ( $N_{org} = N_{am} + N_p$ ) no son igualmente bajos, significa que se está ante una actividad organizadora particularmente intensa. Por tanto la aplicación de sulfato magnésico, provoca un aumento en la actividad organizadora de la planta, este hecho queda perfectamente reflejado en los valores de la relación  $Nm\%NST$  ( $Nm = \text{nitrógeno mineral} = N(NO_3^-) + N(NH_4^+)$  y  $NST = \text{nitrógeno soluble total} = N(NO_3^-) + N_{am} + N_p + N(NH_4^+)$ ), que disminuye respecto al control, si bien no varía con el aumento de la presión osmótica.

Al hablar de aumento de la actividad organizadora, no debe entenderse un proceso positivo

TABLA no 40. Contenido en mgr/l de  $N(NO_3^-)$ ,  
 $N_{am}$ ,  $N_p$  y  $N(NH_4^+)$  en la savia(planta entera).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		$N(NO_3^-)$	$N_{am}$	$N_p$	$N(NH_4^+)$
Control		587	414	53	113
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	I	544	427	55	130
	II	237	326	51	125
	III	350	421	106	142
PEG-4.000	I	600	335	55	10
	II	637	339	37	81
	III	725	252	44	69

$LSD_{N(NO_3^-)}$  5%=68  
 1%=93

$LSD_{N_{am}}$  5%=57  
 1%=79

$LSD_{N_p}$  5%=19  
 1%=26

$LSD_{N(NH_4^+)}$  5%=16  
 1%=22

$LSD_{CN(NO_3^-)}$  5%=68  
 1%=92

$LSD_{CN_{am}}$  5%=57  
 1%=78

$LSD_{CN_p}$  5%=19  
 1%=26

$LSD_{CN(NH_4^+)}$  5%=17  
 1%=23

TABLA n° 41. Contenido en mg/l de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ; Pprot y azúcares reductores en la savia (planta entera).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.		
		$\text{PO}_4\text{H}_2^-$	Pp	azúcares reductores.
Control		361	72	7625
	N <sub>I</sub>	259	34	13562
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	N <sub>II</sub>	221	57	15000
	N <sub>III</sub>	225	122	16687
	N <sub>I</sub>	350	82	7312
PEG-4.000	N <sub>II</sub>	327	58	4312
	N <sub>III</sub>	355	121	4594

$\text{LSD}_{\text{CPO}_4\text{H}_2^-}$  5%=44  
1%=60

$\text{LSD}_{\text{glúcidos}}$  5%=1320  
1%=1804

$\text{LSD}_{\text{CpP}}$  5%=36  
1%=60

$\text{LSD}_{\text{Cglúci.}}$  5%=1285  
1%=1749

TABLA nº 42. Contenido en mgr/l. de potasio y magnesio en la savia (planta entera).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	K <sup>+</sup> %ΣC	Mg <sup>++</sup> %ΣC
Control		4765	316	74,3	15,8
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>I</sub>	3797	534	62,2	28,1
	N <sub>II</sub>	3562	575	59,5	30,9
	N <sub>III</sub>	3797	654	57,2	31,7
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	4343	281	73,9	15,4
	N <sub>II</sub>	4125	345	72,0	19,4
	N <sub>III</sub>	4094	400	69,8	21,9

LSD<sub>K<sup>+</sup></sub> 5%=58.  
1%=79

LSD<sub>CMg<sup>++</sup></sub> 5%= 95  
1%=130

LSD<sub>CK<sup>+</sup></sub> 5%=120  
1%=163

Tabla nº43. Algunas relaciones en savia de maíz (planta entera).

Tratamiento Nivel	Relaciones		%Δ respecto al control	% Δ azucares %ΔMg
	K/Mg <sup>++</sup>	azucares Mg <sup>++</sup>		
Control	4.7	24.1		
MgSO <sub>4</sub>	N <sub>I</sub>	25.4	69.0	77.9
	N <sub>II</sub>	26.0	82.0	96.6
	N <sub>III</sub>	25.5	107.0	118.8
PEG-4000	N <sub>I</sub>	26.0		1.13
	N <sub>II</sub>	12.5		1.18
	N <sub>III</sub>	11.5		1.11

TABLA n° 44. Nm%NST y Pm%PST en la savia extraída de los dos primeros entrenudos y la planta entera.

Tratamiento	Nivel	p.entera		entrenudos	
		Nm% NST	Pm% PST	Nm% NST	Pm% PST
Control		60,0	83,4	75,3	92,2
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>I</sub>	49,7	88,4	62,2	45,4
	N <sub>II</sub>	48,3	79,5	70,9	40,5
	N <sub>III</sub>	48,3	64,8	64,3	24,0
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	63,4	81,0	79,6	56,2
	N <sub>II</sub>	65,5	84,9	82,4	64,2
	N <sub>III</sub>	72,8	74,6	78,7	57,3

TABLA nº 45. Contenido en mg/l de  $N(NO_3^-)$ , Nam, Np y  $N(NH_4^+)$  en la savia (entrenudos).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		$N(NO_3^-)$	Nam	Np	$N(NH_4^+)$
Control		1062	343	29	74
	N <sub>I</sub>	731	424	71	85
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	N <sub>II</sub>	819	278	79	50
	N <sub>III</sub>	569	219	126	52
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	1112	267	36	74
	N <sub>II</sub>	1458	283	37	99
	N <sub>III</sub>	1833	462	47	47



TABLA nº 46. Contenido en mgr/l de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ,  
Pp, azúcares reductores en savia(entrenudos).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.		
		$\text{PO}_4\text{H}_2^-$	Pp	azúcares reductores
Control		309	26	13937
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{N}_I$	187	225	36687
	$\text{N}_{II}$	193	284	42750
	$\text{N}_{III}$	186	590	45687
PEG-4.000	$\text{N}_I$	252	196	11125
	$\text{N}_{II}$	361	201	4200
	$\text{N}_{III}$	437	325	3250

TABLA n° 47. Valores en meq/l de  $N(NO_3^-)$ ,  $P(PO_4H_2^-)$  y  $\Sigma A$  en el análisis de savia (planta entera).

Tratamiento	Nivel	meq/l.		
		$N(NO_3^-)$	$P(PO_4H_2^-)$	$\Sigma A$
Control		41,9	11,6	53,5
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	$N_I$	24,6	8,3	32,9
	$N_{II}$	16,9	7,1	24,0
	$N_{III}$	25,0	7,3	32,0
PEG-4.000	$N_I$	42,9	11,3	54,2
	$N_{II}$	45,5	10,5	56,0
	$N_{III}$	51,8	11,4	63,2

para el aumento de rendimiento del cultivo, si no simplemente el predominio de unas formas u otras de un elemento, que posiblemente sean las mas idóneas para la adaptación de la planta al aumento de presión osmótica a que se ve sometida.

En el  $M_{1PEG}$ , se produce un comportamiento - diferente de la planta. Los valores de  $N(NO_3^-)$ , son mas elevados que para el control, al mismo tiempo que aumentan con el incremento de la presión osmótica. Este aumento en el valor de  $N(NO_3^-)$  al mismo tiempo que valores inferiores en  $N(NH_4^+)$ ,  $N_{am}$  y una ligera tendencia a disminuir el  $N_p$ , tabla nº 40, muestran claramente que la actividad organizadora es insuficiente. Los valores de la relación  $N_{m\%NST}$  para el análisis de la planta entera, tabla nº 44 demuestran claramente que la actividad sintética u organizadora se ve cada vez mas impedida con el aumento de la presión osmótica.

El análisis de savia de los entrenudos, es mas indicativo que el de la planta entera en los valores de  $N(NO_3^-)$ . En el  $M_{1MgSO_4}$ , el contenido de  $N_p$  en los entrenudos, aumenta con el incremento de la presión osmótica. El contenido en  $N_{am}$  experimenta un aumento al pasar del control al  $N_I$ , si bien luego disminuye al aumentar la presión osmótica.

Así pues de lo expuesto parece que en el  $M_{MgSO_4}$ , el efecto específico del  $MgSO_4$ , juega un papel preponderante en la planta de maíz, haciendo pasar a un segundo plano o incluso anulando el efecto osmótico.

El efecto osmótico actúa dificultando el poder organizativo de la fracción nitrogenada, y este hecho está a su vez claramente relacionado con el aumento de la presión osmótica como se observa en la relación  $Nm\%NST$ , cuyos valores pasan de 63,4 a 72,8.

Al contrario, el efecto específico del  $MgSO_4$  ejerce sobre la planta de maíz, independientemente de la presión osmótica, en los valores del experimento, un efecto acelerador respecto a la actividad sintética u organizadora, pasando la relación  $Nm\%NST$  a ser del orden de 48,3.

En la fig. nº 26, se observa la acción diferente del efecto osmótico ( $M_{PEG}$ ) y del efecto específico de la sal ( $M_{MgSO_4}$ ), en la relación  $Nm\%NST$ .

El análisis de savia de los entrenudos, confirma las tendencias fundamentales vistas en el análisis de la planta entera y además muestra, que el efecto específico de la sal, induce que la proporción de  $N_p$  en el  $N_{org}$  aumente al incrementarse la presión osmótica, siendo de 14,3% en  $N_I$ ; 22,1% en  $N_{II}$  y 36,5%

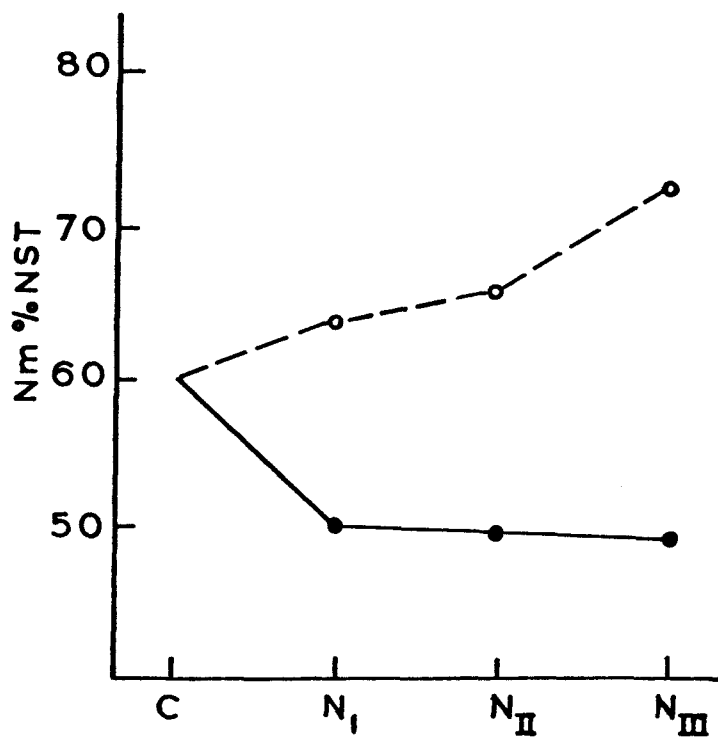


FIG. 26 - VARIACION DE LA RELACION  $Nm\%NST$  CON EL AUMENTO DE LA PRESION OSMOTICA (PLANTA ENTERA).

●  $M_1MgSO_4$       ○  $M_1PEG$

en  $N_{III}$ . El efecto osmótico sin embargo, tiene una acción completamente distinta; al aumentar la presión osmótica aumenta ligeramente la proporción en  $N_{II}$  y disminuye ligeramente la proporción en  $N_{III}$  pasando de un valor de 13.5% en  $N_I$  a un 10.2% en  $N_{III}$ .

### Fracción fosfórica.

En el estudio de la fracción fosfórica, los resultados del análisis de savia de la planta entera y de los entrenudos son diferentes en intensidad.

El análisis de savia de la planta entera, tabla nº 41, da como resultado para el  $M_{MgSO_4}$ , una disminución en los valores de  $P(PO_4H_2^-)$ , respecto al control, mientras que los valores de  $P_p$ , aumentan al hacerlo la presión osmótica, si bien al pasar del control al  $N_I$  se ha producido una disminución en el contenido, por tanto, al aumentar la presión osmótica aumenta el nivel de organización, lo cual se refleja en el valor de la relación  $P_m\%PST$  ( $P_m = P(PO_4H_2^-)$  y  $PST = P(PO_4H_2^-) + P_p$ ), tabla nº 44, que disminuye de 88.4% a 64,8%.

En el  $M_{PEG}$ , el nivel de  $P(PO_4H_2^-)$  es similar al control. El  $P_p$  aumenta respecto al control en el  $N_{III}$ . Parece que en este nivel  $N_{III}$ , hay un ligero

aumento del nivel de organización, lo cual se observa por el valor 74.6 de la relación  $Pm\%PST$ , tabla nº 44.

Por tanto, del análisis de la savia de la → planta entera, se deduce que el efecto específico del  $MgSO_4$ , provoca un aumento de la actividad organizadora en los niveles superiores de presión osmótica, efecto similar al que ejerce el efecto osmótico.

El análisis de savia de los entrenudos, tabla nº 46, ha dado como resultado para el  $M_{1MgSO_4}$ , una disminución en los valores de  $P(PO_4H_2^-)$  respecto al control, estos no varían con el aumento de la presión osmótica.

Los valores de  $Pp$ , aumentan con el incremento de la presión osmótica, pero en una proporción mucho mayor a la que lo hacían en la planta entera. Por tanto, al aumentar la presión osmótica, se incrementa el nivel de organización del fósforo poniéndose de manifiesto mas intensamente en esta parte vegetal, que para la planta entera, pues el valor de la relación  $Pm\%PST$ , va desde 92,2 para el control a 24.0 para el  $N_{III}$ , tabla nº 44.

Para el  $M_{1PEG}$ , el contenido tanto en  $P(PO_4H_2^-)$  como en  $Pp$ , aumenta con la presión osmótica, siendo las diferencias con el control mucho mas acusadas con el  $Pp$  que con el  $P(PO_4H_2^-)$ ; luego hay un claro aumento del

nivel de organización de la nutrición fosfórica que lo refleja la relación  $Pm\%PST$ , tabla nº 44, cuyos valores son como máximo 64,2% frente al control que es de 92,2%. Por tanto, tanto el efecto específico de la sal como el efecto osmótico tienen la misma acción, es decir provocar un aumento en el nivel de organización de la nutrición fosfórica.

Luego, si bien ambos análisis, planta entera y entrenudos, muestran la misma tendencia fig. nº 27 y 28, es mas significativo el análisis de savia de los entrenudos, puesto que los resultados de la nutrición fosfórica se ven mas claramente.

El  $M_{1MgSO_4}$ , provoca en la planta entera - unos valores mas bajos que el control para la suma de aniones y no varía con el aumento de la presión osmótica, tabla nº 47. El valor en  $N_{II}$ , sale mas bajo, al igual que ocurría en el análisis foliar.

Según la bibliografía consultada (Strogonov (1933)), la salinidad influye negativamente en el contenido de fósforo de la planta, dato que coincide con el obtenido por nosotros al producir la salinidad con  $MgSO_4$ .

El menor contenido en P se corresponde con un menor contenido en nitrógeno ya que la planta tiende a conservar la relación fosfórica nitrogenada



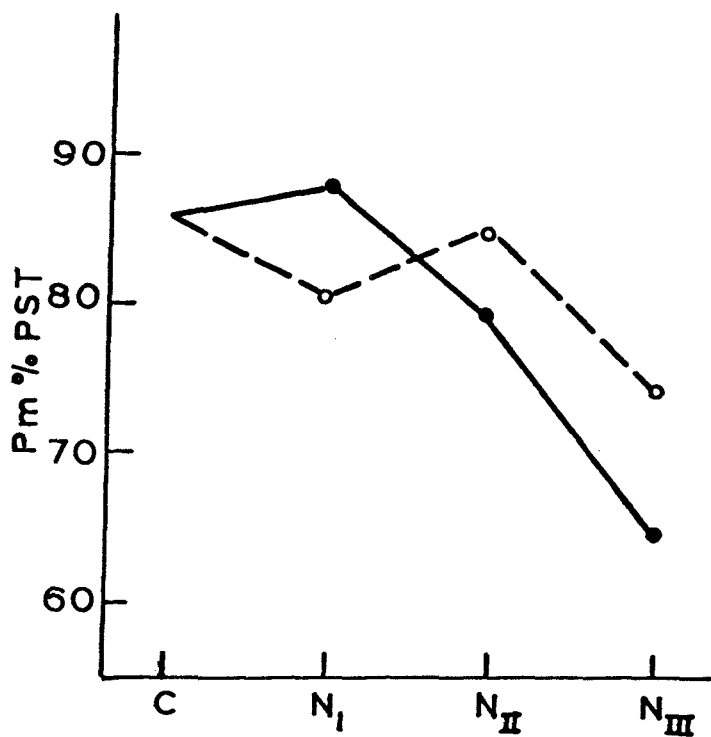


FIG. 27 - VARIACION DE LA RELACION Pm%PST  
CON EL AUMENTO DE LA PRESION OS-  
MOTICA (PLANTA ENTERA).

● M<sub>1</sub>MgSO<sub>4</sub>      ○ M<sub>1</sub>PEG

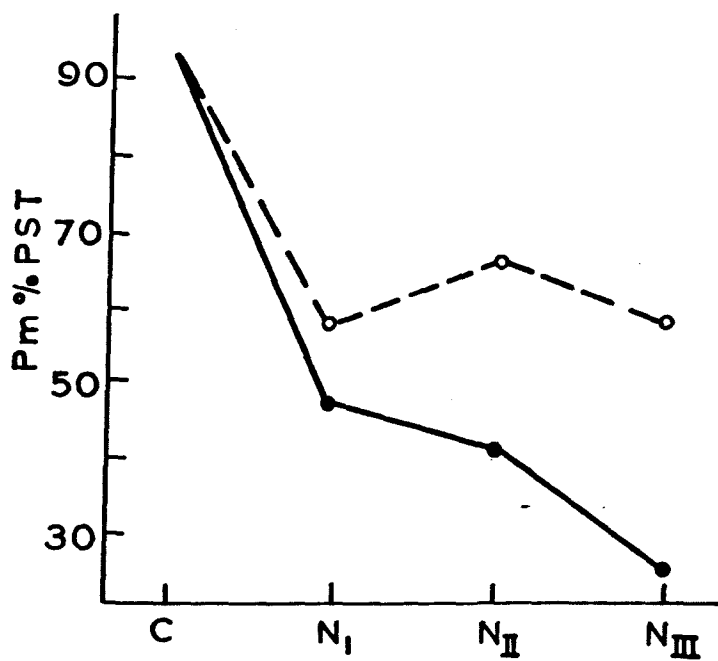


FIG. 28 - VARIACION DE LA RELACION PM% PST  
CON EL AUMENTO DE LA PRESION OS-  
MÓTICA(ENTRENUDOS).

○ M<sub>1</sub> PEG      ● M<sub>1</sub> MgSO<sub>4</sub>

mas adecuada para su desarrollo, lo que da como consecuencia A inferior a la del control que nos indica una nutrición insuficiente tanto de N como de P. Al mismo tiempo, se produce un desequilibrio de las fracciones, tanto nitrogenadas como fosfóricas.

En el  $M_{1PEG}$ , la  $\Sigma A$  tiene valores ligeramente mas elevados que el control observándose una tendencia a aumentar con el incremento de la presión osmótica, tabla nº 47.

Por tanto, el efecto específico del  $MgSO_4$ , se manifiesta claramente disminuyendo la  $\Sigma A$ , mientras que el efecto osmótico la aumenta. Estas mismas tendencias se manifiestan también en el análisis foliar.

### Cationes.

Respecto a los resultados de los cationes, el análisis de savia de los entrenudos no da resultados indicativos, mientras que el de la planta entera da valores que reflejan los distintos tratamientos a que han sido sometidas las plantas.

En el  $M_{1MgSO_4}$ , el  $Mg^{++}$  influye negativamente en el contenido de  $K^+$ , haciendo que este disminuya con el aumento de la presión osmótica, como lo indican tanto los valores absolutos, como los de  $K\% \Sigma C$ , tabla nº 42. En el  $M_{1PEG}$ , se manifiesta el mismo efecto de-

bido a producirse en la savia un aumento del contenido en Mg con el incremento de la presión osmótica, - como se en los valores de  $Mg^{++}$  y  $Mg\% \Sigma C$ , tabla nº 42. Sin embargo ocurre en menor intensidad, ya que hay menos Mg en el medio nutritivo y su contenido en la planta es menor.

Así pues, el efecto específico del  $MgSO_4$ , hace aumentar el contenido en  $Mg^{++}$  y este aumento provoca una disminución del contenido de  $K^+$ , mientras que el efecto osmótico estimula el contenido de Mg en la savia y debido a esto provoca la misma acción que el efecto específico.

Esta interacción entre el contenido en  $K^+$  y  $Mg^{++}$ , expresados como  $K\% \Sigma C$  y  $Mg\% \Sigma C$  en ambos tratamientos, está representada en la fig. nº 29, como se observa en ella, la interacción es muy clara.

El aumento del contenido en Mg en el  $M_{1MgSO_4}$  es debido a que es esta sal la que se utiliza para elevar la presión osmótica del medio nutritivo.

Por lo visto anteriormente, se comprueba que el efecto específico del  $MgSO_4$  y el efecto osmótico se ponen de manifiesto de la misma forma.

Los datos de SST, no figuran en el texto debido a que su contenido en la savia dió solamente indicios.

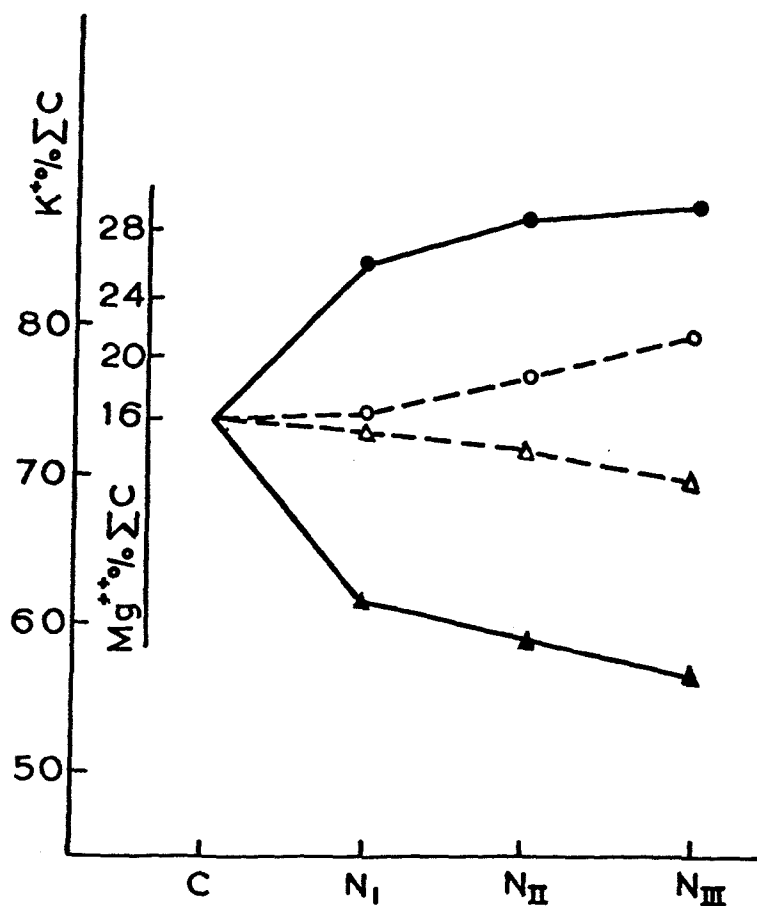


FIG. 29 - VARIACION DEL CONTENIDO EN  $K^+$  Y  $Mg^{++}$  CON EL AUMENTO DE LA PRESION OSMOTICA (PLANTA ENTERA).

$\blacktriangle$   $K^+$  en  $MgSO_4$      $\triangle$   $K^+$  en  $MgSO_4$   
 $\bullet$   $Mg^{++}$  en  $MgSO_4$      $\circ$   $Mg^{++}$  en  $MgSO_4$

### Azúcares reductores.

En el  $M_{1MgSO_4}$ , se produce un notable aumento en el contenido de azúcares reductores de la sa--  
via respecto al control. Se observa también una tendenciaa aumentar estos con el incremento de la presión osmótica.

Según CHABOUSSOU(21), la deficiencia de K, produce una acumulación de azúcares solubles e impi-  
de la actividad de las hidrolasas, todo ello da como resultado la acumulación de aminoácidos libres y amoníaco. En nuestro caso aparentemente no se acusa de-  
ficiencia visual de  $K^+$ , pero su contenido tanto en la savia como en el análisis foliar, tablas nº 42 y 33, es menor respecto al control, al mismo tiempo la re-  
lación  $K^+/Mg^{++}$ , tabla nº 43, disminuye considerablemente tanto para el análisis foliar, tabla nº 37, como para el de savia, tabla nº 43. Esta disminución tal vez podría ser la razón de la gran cantidad de azúcares reductores producida. O sea, el desequilibrio entre  $K^+$  y  $Mg^{++}$  parece que actúa como deficiencia de  $K^+$ .

En el  $M_{1PEG}$ , la relación  $K^+/Mg^{++}$  es igual en el control que en el nivel  $N_I$  y el contenido de azú-  
cares muy semejante (no son significativas las dife-  
rencias), mientras que en los otros niveles  $N_{II}$  y  $N_{III}$

esta relación permanece inferior al control, observándose como la producción de azúcares reductores ha disminuido, se podría considerar que esto está en oposición a lo indicado anteriormente pero no es así, ya que en este caso el nivel de K foliar es superior al control, por lo cual, no podemos decir que exista una deficiencia de este elemento, aunque si un desequilibrio  $K^+/Mg^{++}$ , que puede influir en la síntesis de azúcares reductores. Esto queda corroborado teniendo en cuenta que los valores de la relación  $K^+/Mg^{++}$  en el control y en el nivel  $N_1$  del  $M_{1PEG}$ , como indicamos anteriormente, son muy parecidos y que el contenido en azúcares reductores también lo es, tabla nº 43 y 46.

Para el análisis de savia de los entrenudos, se encuentra la misma tendencia en la acumulación de azúcares, pero los valores son mucho mas elevados y también tienen unas diferencias mucho mayores, tabla nº 46. Por tanto, como podemos ver en la fig. nº 30, para la determinación de azúcares reductores es mas indicativo el análisis de savia de los entrenudos que de la planta entera.

En el  $M_{1MgSO_4}$ , como se aprecia en la tabla nº 43, la relación entre el contenido de azúcares reductores y el contenido en Mg de la savia, se conserva prácticamente constante con el aumento de la pre-

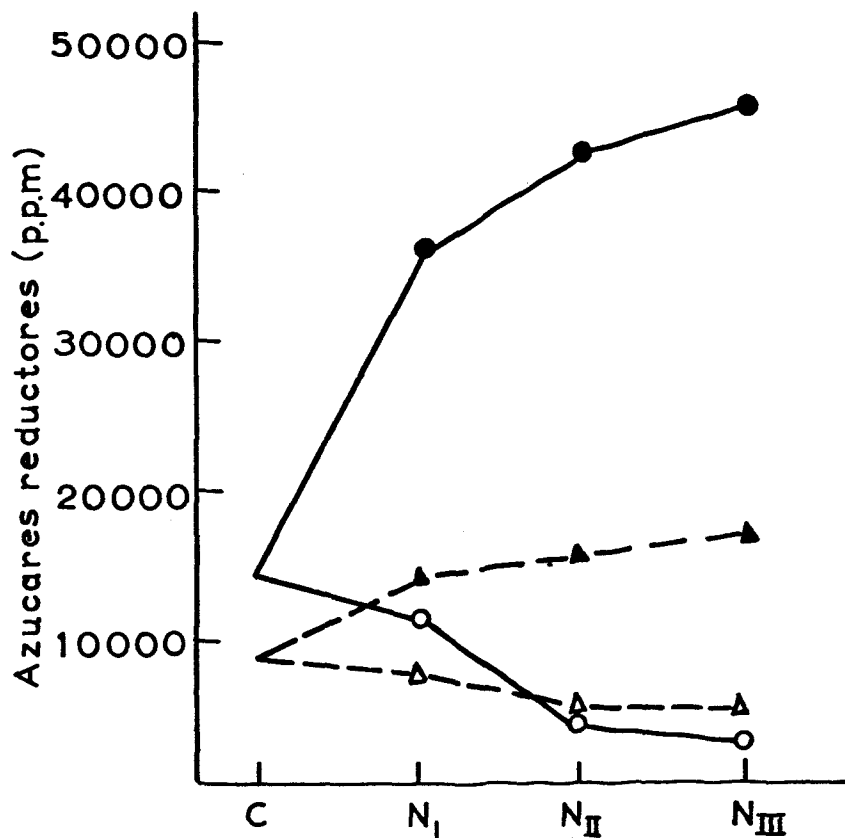


FIG. 30 - VARIACIÓN DE LOS AZÚCARES REDUCTORES CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA EN SAVIA DE LOS ENTRENUDOS Y DE LA PLANTA ENTERA.

▲ M<sub>1</sub>MgSO<sub>4</sub>

△ M<sub>1</sub>PEG (ENTRENUDOS)

● M<sub>1</sub>MgSO

○ M<sub>1</sub>PEG (PLANTA ENTERA)



sión osmótica y da valores análogos al control. El mantenerse constante esta relación con el aumento de la presión osmótica, nos indica que en la savia existe una clara relación entre el contenido en Mg y en azúcares reductores, cuando el contenido en Mg alcanza valores sumamente altos.

En la fig. nº 31, donde se representa el tanto por ciento de incremento de azúcares y  $Mg^{++}$  respecto al control, tabla nº 43, se aprecia muy bien - esta relación. En la extensa bibliografía que hemos consultado referente a este tema, no hemos encontrado referencia a esta relación entre el contenido de Mg y azúcares en savia, pero en el  $M_{1MgSO_4}$ , se manifiesta claramente, como nos indican los datos que quedan reseñados.

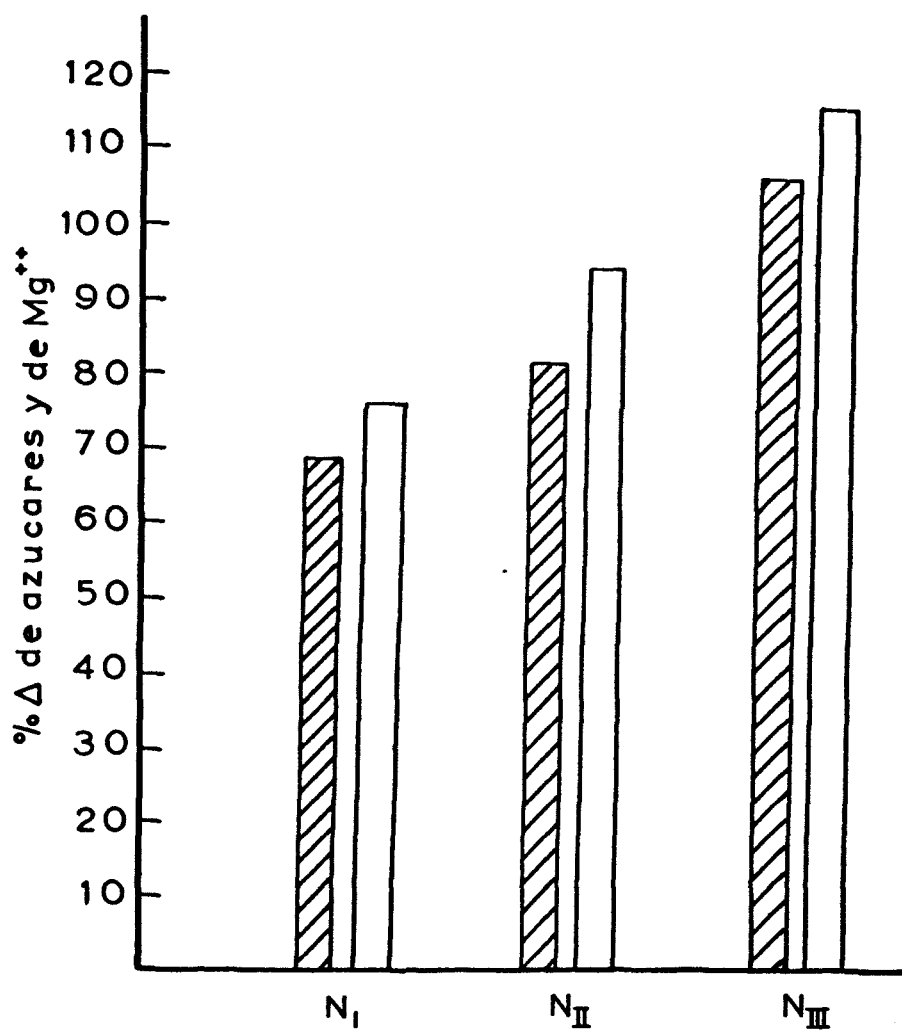


FIG. 31 - RELACION EN EL  $M_{1MgSO_4}$  ENTRE EL CONTENIDO DE AZÚCARES REDUCTORES Y DE  $Mg^{++}$ .

▨ %Δ en  $Mg^{++}$

□ %Δ en azúcares reductores

## EXPERIMENTO DE MAIZ CON NaCl

#### 4.10. EXPERIMENTO DE MAIZ CON NaCl

Se sometió a la planta durante doce días a presiones osmóticas de 2.0, 3.5 y 5.0 atm., conseguidas por la adición a la solución nutritiva de NaCl o PEG-4.000.

##### 4.10.1. Contenido en PEG-4.000 de las plantas del tratamiento de PEG-4.000 M<sub>2</sub>PEG.

Las plantas del M<sub>2</sub>PEG, no presentan síntomas de absorción de PEG-4.000, ni las raíces sufren daño alguno. Lo cual queda confirmado por el análisis de contenido de PEG-4.000 que se reseña en la tabla nº 48, quedando de esta manera asegurado el comportamiento del PEG-4.000 como agente osmótico.

##### 4.10.2. Resultados y discusión del análisis foliar.

Los resultados de peso húmedo, peso seco y % de humedad aparecen en las tablas nº 49 y 50. Los resultados del análisis foliar aparecen en las tablas nº 51 a 57.

Consideraciones sobre el peso húmedo, peso seco y % de humedad.

La influencia de la presión osmótica sobre el

TABLA nº 48. Contenido de PEG-4.000 en las plantas de la 2ª Experiencia.

Nivel de presión osmótica	plantas utilizadas en el análisis fo- liar.	plantas utilizadas en el análisis de savia.
	PEG(mgr/gr. peso fresco)	
N <sub>I</sub>	0.19	0.15
N <sub>II</sub>	0.20	0.41
N <sub>III</sub>	0.66	0.54

Los datos son el valor medio de las 5 repeticiones.

Tabla nº49. Peso humedo, peso seco, % de H<sub>2</sub>O y sus incrementos en tanto por ciento respecto al control para la parte aerea de la planta de maiz.

Tratamiento Nivel	PH	-%ΔPH	PS	-%ΔPS	%H <sub>2</sub> O	-%ΔH <sub>2</sub> O
Control	101.8		9.12		91.04	
NaCl						
N <sub>I</sub>	80.0	21.41	8.16	10.53	89.80	1.35
N <sub>II</sub>	78.2	23.18	8.22	9.87	89.49	1.70
N <sub>III</sub>	62.5	38.60	7.05	22.70	88.72	2.55
PEG-4000						
N <sub>I</sub>	63.2	37.92	6.51	28.62	89.70	1.47
N <sub>II</sub>	58.5	42.53	6.44	29.39	88.99	2.25
N <sub>III</sub>	38.8	61.89	5.12	43.86	86.90	4.54

PH= peso humedo

PS= peso seco

Δ = incremento

Tabla nº50. Peso humedo, peso seco, % de H<sub>2</sub>O y sus incrementos en tanto por ciento respecto al control para la quinta hoja y la raíz de la planta de maiz.

Organo	Tratamiento	Nivel	PH	-%ΔPH	PS	-%ΔPS	%H <sub>2</sub> O	-%ΔH <sub>2</sub> O
5ª hoja	Control		6.52		0.78		88.03	
	NaCl	N <sub>I</sub>	5.21	20.09	0.65	16.67	87.52	0.58
		N <sub>II</sub>	5.39	17.33	0.70	10.25	87.01	1.15
		N <sub>III</sub>	4.33	33.59	0.57	26.92	86.84	1.35
raiz	Control		52.3		3.26		93.77	
	NaCl	N <sub>I</sub>	42.4	18.93	3.14	3.68	92.59	1.26
		N <sub>II</sub>	37.5	28.30	2.90	11.04	92.27	1.60
		N <sub>III</sub>	35.8	31.55	2.66	18.40	92.46	1.40

PH= peso humedo; PS= peso seco; Δ = incremento

TABLA nº 51. Contenido en % de nitrógeno, fósforo y potasio en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	%		
		N	P	K
Control		3.0	0.70	4.6
NaCl	N <sub>I</sub>	3.3	0.78	4.5
	N <sub>II</sub>	3.3	0.65	4.2
	N <sub>III</sub>	3.4	0.69	3.8
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	3.3	0.80	5.6
	N <sub>II</sub>	3.4	0.80	5.4
	N <sub>III</sub>	3.2	0.70	5.3

LSD<sub>P</sub> 5%=0.05  
1%=0.07

LSD<sub>K</sub> 5%=0.25  
1%=0.34

LSD<sub>CP</sub> 5%=0.05  
1%=0.06

LSD<sub>CK</sub> 5%=0.24  
1%=0.33



TABLA n° 52. Contenido en % de calcio, magnesio, sodio y cloruro, en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	%			
		Ca	Mg	Na	Cl <sup>-</sup>
Control		0.39	0.38	0.005	0.28
NaCl	N <sub>I</sub>	0.34	0.37	0.236	0.70
	N <sub>II</sub>	0.34	0.39	0.480	0.73
	N <sub>III</sub>	0.38	0.40	0.928	1.20
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	0.46	0.47	0.007	0.31
	N <sub>II</sub>	0.46	0.47	0.006	0.26
	N <sub>III</sub>	0.45	0.40	0.004	0.29

LSD<sub>Na</sub> 5%=0.14  
1%=0.19

LSD<sub>CCa</sub> 5%=0.05  
1%=0.06

LSD<sub>Ca</sub> 5%=0.017  
1%=0.023

LSD<sub>CMg</sub> 5%=0.05  
1%=0.07

LSD<sub>Mg</sub> 5%=0.017  
1%=0.023

LSD<sub>CNa</sub> 5%=0.129  
1%=0.174

LSD<sub>Cl</sub> 5%=0.14  
1%=0.19

LSD<sub>CCl</sub> 5%=0.13  
1%=0.18

TABLA nº 53. Contenido en ppm. de hierro, manganeso y zin en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	ppm.		
		Fe	Mn	Zn
Control		66	125	87
NaCl	N <sub>I</sub>	89	114	69
	N <sub>II</sub>	56	113	66
	N <sub>III</sub>	75	151	89
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	73	121	76
	N <sub>II</sub>	83	159	82
	N <sub>III</sub>	87	165	106

LSD<sub>CMn</sub> 5%=27  
1%=36

LSD<sub>CZn</sub> 5%=16  
1%=22

TABLA nº 54. Suma de aniones, cationes, su relación y relación K/Na en la parte aérea.

Tratamiento	Nivel	Relaciones			K/Na
		$\Sigma A$	$\Sigma C$	$\frac{\Sigma C}{\Sigma A}$	
Control		3.98	5.37	1.35	920
NaCl	N <sub>I</sub>	4.78	5.45	1.14	19.0
	N <sub>II</sub>	4.68	5.41	1.16	8.7
	N <sub>III</sub>	5.29	5.50	1.04	4.1
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	4.41	6.54	1.48	
	N <sub>II</sub>	4.46	6.34	1.42	
	N <sub>III</sub>	4.19	6.15	1.47	

Tabla nº55. Contenido de K,Ca,Mg y Na expresado como tanto por ciento de la suma de cationes

Tratamiento Nivel	K%ΣC	Ca%ΣC	Mg%ΣC	Na%ΣC
Control	85.7	7.3	7.1	0.1
PEG-4000 N <sub>I</sub>	85.6	7.0	7.2	0.1
N <sub>II</sub>	85.2	7.3	7.4	0.1
N <sub>III</sub>	86.2	7.3	6.5	0.1

TABLA nº 56. Contenido de macroelementos(%)  
y microelementos(ppm.) en la 5ª hoja.

		Tratamiento		
Control		NaCl		
		N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>
F	0,69a	0,66a	0,58a	0,57a
K	4,8a	4,6a	4,5a	4,6a
Ca	0,69b	0,57a	0,55a	0,69b
Mg	0,58ba	0,48a	0,48a	0,59b
Na	0,009	0,164b	0,327ba	0,438a
Fe	112a	115a	126a	117a
Mn	298a	204a	235a	306a
Zn	136b	90a	97a	132b

En una misma línea las diferencias no seguidas de la misma letra son significativas al nivel de probabilidad del 5%

TABLA nº 57. Contenido de macroelementos (%) y microelementos(ppm.) en la raíz.

		Tratamiento		
Control		NaCl		
		N <sub>I</sub>	N <sub>II</sub>	N <sub>III</sub>
N	3,2	3,1a	3,1a	3,1a
F	1,23	1,11a	0,95ab	0,88b
K	5,0	3,6a	3,1a	2,5
Ca	0,75a	0,82ab	0,66bc	0,54c
Mg	0,60a	0,57a	0,56a	0,56a
Na	0,036	1,580	2,293	2,895
Fe	1.600b	1.390bc	1.060ac	1.075ac
Mn	444	306a	263a	308a
Zn	104a	106a	94a	113a

En una misma línea las diferencias no seguidas de la misma letra son significativas al nivel de probabilidad del 5%

desarrollo de la planta de maíz en sus primeros esta  
dos vegetativos, queda claramente patente en los va-  
lores de peso húmedo y su  $-\% \Delta$ , tabla nº 49. El efec-  
to osmótico influye, como se aprecia por los valores  
de peso húmedo, notablemente en le desarrollo, siendo  
este sensiblemente menor con el aumento de la presión  
osmótica de la solución nutritiva. Estos resultados  
coinciden con los del  $M_{1PEG}$ , si bien, en esta ocasión  
la disminución en el desarrollo es mas escalonada y -  
el mayor descenso de produce al pasar del nivel  $N_{II}$  -  
al  $N_{III}$ .

El efecto específico del NaCl, también se  
acusa en el peso de la parte aérea de la planta, ya -  
que estos son menores al control y disminuyen progre-  
sivamente con el aumento de la presión osmótica.

Por tanto, el aumento de la presión osmótica  
de la solución nutritiva provoca una disminución del  
desarrollo de la planta y este efecto, es independien-  
te del soluto utilizado para aumentarla, si bien esta  
disminución adquiere distinta intensidad segun la sal  
utilizada, -este efecto también es encontrado por JAMES  
(54), como se aprecia por comparación de  $M_{1MgSO_4}$  con  $M_{2NaCl}$

La disminución en el peso es mayor cuando -  
sólo se manifiesta el efecto osmótico, lo cual se ob-

va perfectamente en la fig. nº 32 en la cual se presenta el  $-\% \Delta$  de peso húmedo pudiendo ver que ambos tratamientos aumenta, siendo mayores para de PEG-4.000.

El comportamiento es análogo al considerar pesos secos si bien en este caso los valores del  $N_{II}$  del  $M_{2NaCl}$  son prácticamente iguales.

Los datos de humedad, tabla nº 49, muestran que el aumento de la presión osmótica provoca una ligera disminución en el contenido de agua. Por los datos, parece que hay una tendencia a que esta disminución sea mas rápida en el  $M_{2PEG}$  que en el  $M_{2NaCl}$ , un comportamiento similar ha sido encontrado por JAMES (54) para plantas de pimiento y judía y por JAMES(56) para *Lupulus albus*.

En la tabla nº 50, los valores de peso húmedo y peso seco son prácticamente iguales para el  $N_I$  y para el  $N_{II}$  en la quinta hoja, lo cual ya se manifiesta en el peso seco y peso húmedo de la parte aérea.

En la raíz, tabla nº 50, la disminución del peso y en la humedad aumenta con el incremento de la presión osmótica.

En la fig. nº 32, se observa, que con el aumento de la presión osmótica ambos tratamientos producen los mismos efectos, aunque con distinta intensidad.



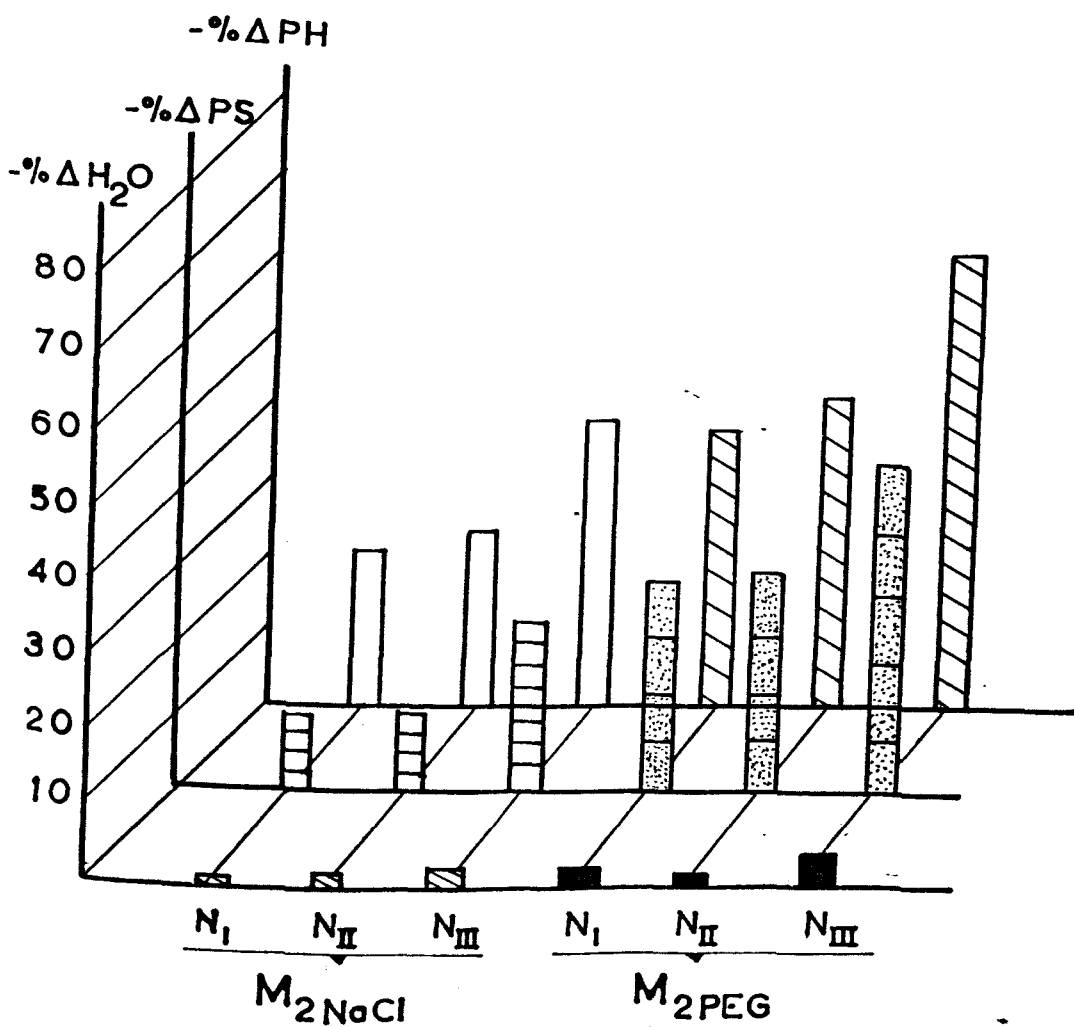


FIG. 32 - REPRESENTACION DEL % DE DISMINUCION EN EL PESO HUMEDO, PESO SECO Y CONTENIDO EN AGUA.

Consideraciones sobre el análisis foliar de la parte aérea.

En el  $M_{2NaCl}$ , el contenido en nitrógeno no varía con el aumento de presión osmótica en los niveles estudiados, ni respecto al control. El  $M_{2PEG}$ , registra un comportamiento similar, luego el efecto específico del NaCl no influye en el contenido de nitrógeno.

El contenido de fósforo en  $M_{2PEG}$ , es mas elevado que en el control. En el  $M_{2NaCl}$ , se acusan ligeras variaciones.

Para el contenido de potasio, se experimenta una disminución en el  $M_{2NaCl}$ , con el aumento de la presión osmótica. Esta disminución es debida al aumento en el contenido de sodio, puesto que el NaCl se ha utilizado para incrementar la presión osmótica, esta interacción entre el contenido en potasio y en sodio para el  $M_{2NaCl}$ , se aprecia por la disminución en los valores de la relación K/Na, tabla nº 54. Por los valores de potasio que tienen las plantas en el  $M_{2PEG}$ , vemos que mientras el efecto osmótico estimula el contenido de potasio, el efecto específico del NaCl, produce una acción totalmente contraria.

El contenido tanto en magnesio como en calcio, varía en el  $M_{2NaCl}$ , con respecto al control. En

el sodio, se produce un aumento en su contenido debido al incremento de la concentración en sodio del medio nutritivo. Por la misma razón, aumenta el contenido en  $\text{Cl}^-$  en el  $\text{M}_{2\text{NaCl}}$ . Sin embargo, por los valores de  $\text{Cl}^-$  obtenidos en el  $\text{M}_{2\text{PEG}}$ , se observa que el aumento de la presión osmótica por PEG-4.000, no tiene incidencia en la concentración de  $\text{Cl}^-$ . Este resultado coincide con los obtenidos por JAMES(54).

Respecto a los microelementos no hay diferencia de comportamiento entre ambos tratamientos. Para el manganeso en el  $\text{M}_{2\text{PEG}}$ , se observa una tendencia a aumentar con el incremento de la presión osmótica. El zinc, en el  $\text{N}_{\text{III}}$  del  $\text{M}_{2\text{PEG}}$ , también tiene un valor superior al control.

Como se puede observar en la tabla nº 54, la  $\Sigma A$  aumenta en ambos tratamientos, aunque el efecto específico del NaCl se acumula al efecto osmótico como nos indica el valor mas elevado de la  $\Sigma A$  en el  $\text{M}_{2\text{NaCl}}$ , sobre todo en el  $\text{N}_{\text{III}}$ , que en el  $\text{M}_{2\text{PEG}}$ . En el  $\text{M}_{2\text{NaCl}}$ , la  $\Sigma C$ , practicamente se conserva en los mismos valores que para el control, mientras que los valores mas elevados de esta suma en el  $\text{M}_{2\text{PEG}}$ , nos indican la acción del efecto osmótico.

La menor influencia del efecto específico

del NaCl, que se observa al compararlo con el efecto específico del  $\text{MgSO}_4$ , está de acuerdo con la bibliografía ARNON(5), según la cual, el maíz se encuentra aparentemente entre aquellos cultivos, que responden muy ligeramente al sodio bajo cualquier condiciones.

Expresando el contenido en cationes, como el tanto por ciento de elemento respecto a la suma de cationes, tabla nº 55, se puede comprobar, como el efecto osmótico, que hace aumentar el contenido de estos elementos, como vemos en las tablas nº 51 y 52, hace que el tanto por ciento, frente a la cantidad total absorbida, sea el mismo en el control que en el  $M_{2\text{PEG}}$ , para el potasio. la misma tendencia se manifiesta para el  $M_{1\text{PEG}}$ .

Luego el efecto osmótico, con el aumento de presión osmótica, provoca un aumento en la absorción de elementos respecto al control, siendo el potasio el que mas aumenta en valor absoluto. Parece que se manifiesta una tendencia a mantenerse un equilibrio en la absorción de los macroelementos.

Las tendencias mostradas en  $M_{1\text{PEG}}$  y  $M_{2\text{PEG}}$ , son en general iguales, si bien los valores de los contenidos de elementos minerales no son exactamente coincidentes, ya que el  $N_{II}$  del  $M_{1\text{PEG}}$ , da valores que son mas altos que para el nivel  $N_I$ , lo cual no ocurre en

el  $M_{2pEG}$ . Por otra parte, el descenso en los valores al pasar del  $N_{II}$  al  $N_{III}$ , ocurre en ambos tratamientos. JAMES(54), explica que mientras en los experimentos de SLATYER (100), el aumento en la presión osmótica interna de la planta, es el mismo que el aumento de la presión osmótica de la solución nutritiva, en los suyos este aumento es algo menor, debido posiblemente, a las diferentes condiciones ambientales en que se realizaron los experimentos. También SANCHEZ CONDE(96), encuentra que la época del año en que se realiza el cultivo tiene influencia en la absorción de elementos P, K, Ca y Mg, para planta de lechuga. Por lo tanto, las diferencias encontradas por nosotros, podrían deberse a las diferentes condiciones climáticas en que se realizaron los experimentos, ya que las horas de insolación variaron de un experimento a otro, debido a realizarse en épocas distintas, en las cuales, según hemos podido comprobar por el estudio de los datos climáticos referentes a las mismas, las diferencias de insolación son marcadas.

#### Consideraciones sobre el análisis foliar de la quinta hoja y la raíz.

De los resultados de la quinta hoja, se comprueba que no se manifiesta interacción Na-K, esta in-

teracción Na-K para la planta de maíz se manifiesta en los resultados obtenidos en el análisis de la parte aérea de la planta, pero no en la quinta hoja. Es tos resultados son análogos a los de la interacción K-Ca en la planta de lechuga, pues SANCHEZ CONDE(95) encuentra que esta interacción se manifiesta según el órgano de la planta que se considere.

La relación K/Ca sigue la misma tendencia en la quinta hoja (control= 6.96;  $N_I$ =8.07;  $N_{II}$ = 8.18;  $N_{III}$ = 6.67), que en la parte aérea (control= 11.79;  $N_I$ = 13.23;  $N_{II}$ = 12.35;  $N_{III}$ =10.00).

Los valores de calcio magnesio y zinc son mas elevados que para la parte aérea, pero sin embargo siguen la misma tendencia.

En la raíz, tabla nº 57, se manifiesta la interacción Na-K, como se observa de los valores de K y Na. Debido al aumento del contenido en sodio, disminuye el potasio, el calcio lo hace también para tratar de equilibrar la relación K/Ca, de esta manera la  $\Sigma C$  se mantiene prácticamente constante.

El contenido de fósforo disminuye al aumentar la presión osmótica.

El hierro es el microelemento mas abundante en la raíz, disminuyendo su contenido con el aumento de la presión osmótica. Esta disminución también ocu-

rre en el manganeso respecto al control.

### .10.3 Resultados y discusión del análisis de savia.

En las tablas nº 58 a 65, se encuentran los datos del análisis de savia de la planta entera y de los entrenudos.

#### Fracción nitrogenada.

Los valores de  $N(NO_3^-)$  en  $M_{2NaCl}$ , son menores que para el control, estos resultados se obtienen tanto en el análisis de savia de la planta entera como de los entrenudos. Esta disminución en el contenido de  $N(NO_3^-)$  puede ser debida al aumento del contenido en Cl. También es menor el contenido de  $N(NO_3^-)$  en el  $M_{2PEG}$ , aunque con menor diferencia que en el tratamiento salino estas diferencias se hacen todavía menores en los entrenudos, para los cuales los valores se aproximan mucho al control llegando hasta sobrepasar los del mismo para los niveles mas altos, pues se produce un aumento en la acumulación del  $N(NO_3^-)$  a medida que se eleva la presión osmótica del tratamiento. Esto nos indica que el análisis de  $N(NO_3^-)$ , es mas representativo en los entrenudos que en la planta, lo cual coincide con los resultados del experimento de maíz con  $MgSO_4$ .

El nivel  $N_{II}$ , del  $M_{2NaCl}$ , tiene los valores mas altos de  $N(NO_3^-)$  tanto en la planta entera .



TABLA n° 58. Contenido en mgr/l. de  $N(NO_3^-)$ ,  
 Nam, Np y  $N(NH_4^+)$  en la savia(planta entera).

Tratamiento	Nivel	mg/l.			
		$N(NO_3^-)$	Nam	Np	$N(NH_4^+)$
Control		745	309	83	176
NaCl	N <sub>I</sub>	385	124	65	94
	N <sub>II</sub>	490	109	75	144
	N <sub>III</sub>	355	163	40	151
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	665	184	40	146
	N <sub>II</sub>	545	155	40	114
	N <sub>III</sub>	600	279	40	132

LSD $_{N(NO_3^-)}$  5%=26  
 1%=36

LSD $_{CN(NO_3^-)}$  5%= 79  
 1%=107

LSD $_{Nam}$  5%=48  
 1%=65

LSD $_{CNam}$  5%= 46  
 1%= 62

LSD $_{Np}$  5%=16  
 1%=22

LSD $_{CNp}$  5%=-16  
 1%= 22

LSD $_{N(NH_4^+)}$  5%=30  
 1%=41

LSD $_{CN(NH_4^+)}$  5%= 30  
 1%= 41

TABLA nº 59. Contenido en mgr/l de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ ,  
Pprot. azúcares reductores y cloruros en la  
savia (planta entera).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		$\text{PO}_4\text{H}_2^-$	Pp	azúcares reductores	$\text{Cl}^-$
Control		383	133	5200	ind.
NaCl	N <sub>I</sub>	308	96	6050	875
	N <sub>II</sub>	315	102	6000	1250
	N <sub>III</sub>	219	56	6500	1300
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	271	75	3950	ind.
	N <sub>II</sub>	224	80	5200	ind.
	N <sub>III</sub>	213	85	6400	ind.

$\text{LSD}_{(\text{PO}_4\text{H}_2^-)} 5\% = 21$   
 $1\% = 28$

$\text{LSD}_{\text{Pprot}} 5\% = 22$   
 $1\% = 30$

$\text{LSD}_{\text{azúcares}} 5\% = 232$   
 $1\% = 314$

$\text{LSD}_C(\text{PO}_4\text{H}_2^-) 5\% = 42$   
 $1\% = 57$

$\text{LSD}_{\text{CPprot}} 5\% = 24$   
 $1\% = 32$

$\text{LSD}_{\text{azúcares}} 5\% = 292$   
 $1\% = 395$

TABLA n<sup>o</sup> 60. Relaciones mas significativas del análisis de savia(planta entera).

Tratamiento	Nivel	Relaciones			
		Nm% NST	Pm% PST	$\frac{NST}{PST}$	$\frac{NO_3^-}{PO_4H_2^-}$
Control		70,1	74,2	2,54	1,95
NaCl	N <sub>I</sub>	71,7	76,2	1,65	1,25
	N <sub>II</sub>	77,5	75,5	1,96	1,56
	N <sub>III</sub>	71,4	79,6	2,58	1,62
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	78,4	78,3	2,99	2,45
	N <sub>II</sub>	77,2	73,7	2,81	2,43
	N <sub>III</sub>	69,6	71,5	3,53	2,82

TABLA nº 61. Contenido en savia de potasio, magnesio y sodio(planta entera).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.		
		$K^+$	$Mg^{++}$	$Na^+$
Control		3250	125	68
NaCl	N <sub>I</sub>	2000	67	164
	N <sub>II</sub>	3550	100	446
	N <sub>III</sub>	3575	155	552
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	4200	145	83
	N <sub>II</sub>	4425	207	103
	N <sub>III</sub>	4575	202	37

LSD<sub>K<sup>+</sup></sub> 5%=723  
1%=979

LSD<sub>Mg<sup>++</sup></sub> 5%= 32  
1%= 44

LSD<sub>Na<sup>+</sup></sub> 5%= 68  
1%= 92

LSD<sub>CK</sub> 5%=717  
1%=970

LSD<sub>CMg</sub> 5%= 32  
1%= 44

LSD<sub>CNa</sub> 5%= 62  
1%= 84

TABLA nº 62. Relaciones mas significativas del análisis de savia(planta entera).

Tratamiento	Nivel	Relaciones			
		K%ΣC	Na%ΣC	K <sup>+</sup> /Na <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup> /Na <sup>+</sup>
Control		80,0	2,7	47,8	3,4
	N <sub>I</sub>	71,6	10,1	12,2	0,76
NaCl	N <sub>II</sub>	69,1	14,5	7,9	0,42
	N <sub>III</sub>	65,2	17,1	6,4	0,53
	N <sub>I</sub>	79,5	2,7	50,6	3,2
PEG-4.000	N <sub>II</sub>	78,3	3,1	42,9	3,7
	N <sub>III</sub>	80,1	1,1	123,7	10,3

TABLA nº 63. Contenido en mgr/l. de  $N(NO_3^-)$   
 Nam, Np y  $N(NH_4^+)$  en la savia(entrenudos).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		$N(NO_3^-)$	Nam	Np	$N(NH_4^+)$
Control		1235	151	78	100
NaCl	N <sub>I</sub>	735	224	..	83
	N <sub>II</sub>	795	237	61	97
	N <sub>III</sub>	675	409	87	119
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	1219	341	75	86
	N <sub>II</sub>	1287	508	102	92
	N <sub>III</sub>	1470	591	172	131

TABLA nº 64. Contenido en mgr/l. de  $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ , Pp,  $\text{Cl}^-$  y azúcares reductores en la savia (entrenudos).

Tratamiento	Nivel	mgr/l.			
		$\text{PO}_4\text{H}_2^-$	Pp	$\text{Cl}^-$	azúcares reductores.
Control		266	50	620	5650
NaCl	N <sub>I</sub>	246	45	1540	8050
	N <sub>II</sub>	298	20	1830	7850
	N <sub>III</sub>	299	24	2687	12187
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	305	70	862	5375
	N <sub>II</sub>	288	101	825	8000
	N <sub>III</sub>	487	187	812	10937

TABLA nº 65. Relaciones mas significativas del análisis de savia(entrenudos).

Tratamiento	Nivel	Relaciones		
		Nm% NST	Pm% PST	Norg/Porg.
Control		85,4	84,2	4,6
NaCl	N <sub>I</sub>	73,1	84,5	6,7
	N <sub>II</sub>	75,0	93,7	14,9
	N <sub>III</sub>	61,5	92,6	20,7
PEG-4.000	N <sub>I</sub>	75,8	81,3	5,9
	N <sub>II</sub>	69,3	74,0	6,0
	N <sub>III</sub>	67,7	72,0	4,1



como en los entrenudos.

Los valores de  $N_m$ ,  $N_p$  y  $N(NH_4^+)$ , son menores que el control tanto en el  $M_{2NaCl}$ , como en el  $M_{2PEG}$ , tabla nº 58.

En el análisis de savia de los entrenudos, los valores de  $N_m$  y  $N_p$ , son mayores que el control para el  $M_{2PEG}$ , y aumentan con el incremento de la presión osmótica.

Del estudio de estos valores se comprueba que existe una respuesta de la planta al aumento de presión osmótica que se manifiesta en una distinta proporción de las fracciones nitrogenadas que es diferente según el órgano analizado. Los resultados de la planta entera no muestran un aumento en el nivel de organización, como indican los valores de la relación  $N_m\%NST$ , tabla nº 60, en el  $M_{2NaCl}$ . En el  $M_{2PEG}$ , hay una ligera disminución en el nivel de organización nitrogenada para el nivel  $N_I$ .

Los resultados de los entrenudos indican que en el  $M_{2NaCl}$ , hay un aumento del nivel de organización nitrogenada, como se aprecia en los valores de  $N_m\%NST$ , tabla nº 65, que es claro sobre todo en el nivel  $N_{III}$ . En el  $M_{2PEG}$ , también sucede igual, es decir, el nivel de organización nitrogenada aumenta con

la presión osmótica. En la fig. nº 33, se pone de manifiesto este aumento del nivel de organización nitrogenada con la presión osmótica para ambos tratamientos. Por tanto, de los valores obtenidos del análisis de los entrenudos se observa que tanto el efecto osmótico como el efecto específico del NaCl tienen la misma acción.

#### Fracción fosfórica.

El contenido de  $P(PO_4H_2^-)$ , disminuye con respecto al control en ambos tratamientos. También se produce una disminución con el aumento de la presión osmótica, esta disminución se acusa al pasar del nivel  $N_{II}$  al  $N_{III}$  en el  $M_{2NaCl}$ , y al pasar del nivel  $N_I$  al  $N_{II}$  en el  $M_{2PEG}$ .

En ambos tratamientos el Pp es menor que en el control, tabla nº 59.

Para el análisis de los entrenudos los resultados son diferentes pues el  $P(PO_4H_2^-)$ , tabla nº 64, aumenta respecto al control. En el  $M_{2NaCl}$ , este aumento es ligero y se produce a partir del nivel  $N_{II}$ . En el  $M_{2PEG}$ , el aumento es superior. El Pp, disminuye respecto al control en el  $M_{2NaCl}$ , y aumenta en el  $M_{2PEG}$ .

De los valores comentados anteriormente, re-

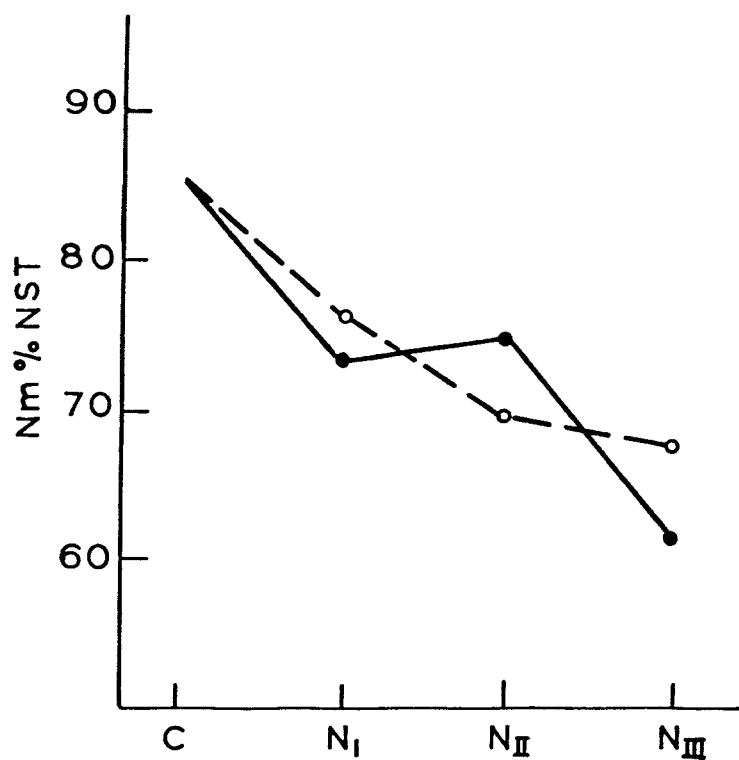


FIG. 33 - VARIACIÓN DE LA RELACIÓN  $Nm/NST$  CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA (ENTRENUDOS).

●  $M_{2NaCl}$       ○  $M_{2PEG}$

sulta que en la planta entera la intensidad del nivel de organización fosfórica, prácticamente no experimenta variación respecto al control en el  $M_2NaCl$ . En el  $M_2PEG$ , con valores de la relación  $Pm\%PST$ , muy semejantes al control, tabla nº 61, parece que disminuye ligeramente con el aumento de la presión osmótica. Por tanto, no hay acción claramente diferente entre el efecto osmótico y el efecto específico del  $NaCl$ .

Ahora bien en los entrenudos, se observa un ligero aumento de la relación  $Pm\%PST$ , tabla nº 65, es decir, una ligera disminución en el nivel de organización para el  $M_2NaCl$ , y un ligero aumento de la intensidad de organización fosfórica en el  $M_2PEG$ , fig. nº 34.

#### Relación entre la fracción nitrogenada y la fracción fosfórica.

La relación  $NST/PST$ , tabla nº 60, en el análisis de la planta entera, aumenta con el incremento de la presión osmótica para ambos tratamientos. En el  $M_2NaCl$ , el valor de la relación con respecto al control disminuye al pasar al  $N_I$  aumentando con la presión osmótica como se ha dicho, llegando en el  $N_{III}$ , a alcanzar un valor análogo al control. Para el  $M_2PEG$ ,

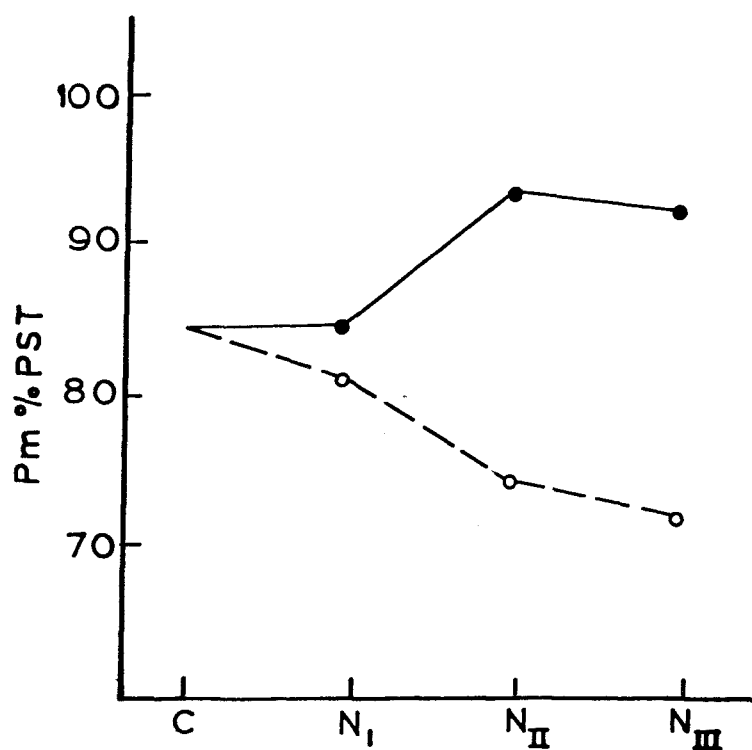


FIG. 34 - VARIACIÓN DE LA RELACIÓN Pm% PST  
CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓ  
TICA (ENTRENUDOS).

● M<sub>2</sub> NaCl ○ M<sub>2</sub> PEG

ya el  $N_I$  es mayor que el control. Por tanto como se ve en la fig. nº 35, la tendencia de la relación es la misma en ambos tratamientos. Los valores mas elevados que el control en el  $M_{2PEG}$ , sugieren que en  $N_I$  del NaCl, predomina el efecto específico del NaCl. y que a partir de este nivel de presión osmótica, predomina cada vez mas el efecto osmótico sobre el salino, haciendo que el valor de la relación NST/PST, sea cada vez mayor.

El mismo resultado se obtiene para la relación  $NO_3^-/PO_4H_2^-$  y por los mismos motivos, fig. nº 36.

La relación Norg/Porg en los entrenudos, que sigue la misma tendencia que para la parte aérea en el  $M_{2NaCl}$ , pero con valores mas diferenciados, se encuentra en la tabla nº 65. Como se ve en la fig. nº 37, la relación permanece prácticamente constante con el aumento de la presión osmótica en el  $M_{2PEG}$ , mientras que aumenta notablemente con el incremento de la presión osmótica en el  $M_{2NaCl}$ . Por tanto, el aumento del valor de la relación Norg/Porg es un efecto específico del NaCl, que se manifiesta con mayor intensidad a partir del nivel  $N_I$ .

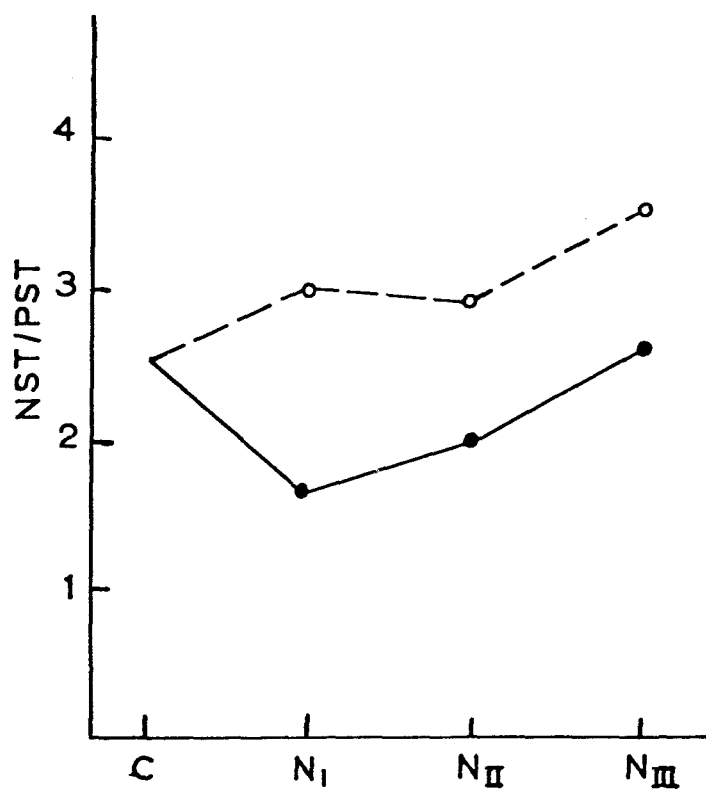


FIG. 35 - VARIACIÓN DE LA RELACIÓN NST/PST  
CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓ  
TICA (PLANTA ENTERA),

●  $M_2NaCl$       ○  $M_2PEG$

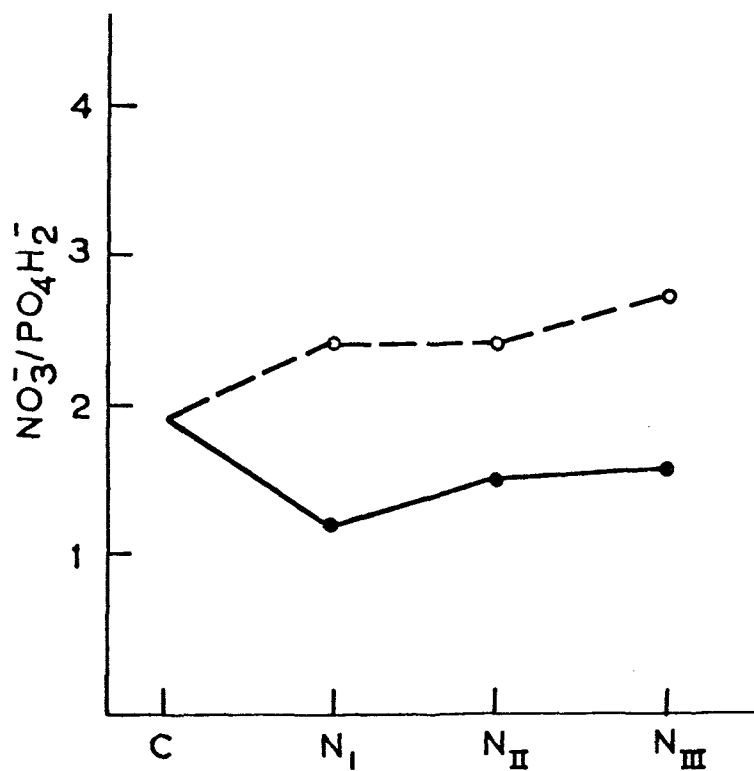
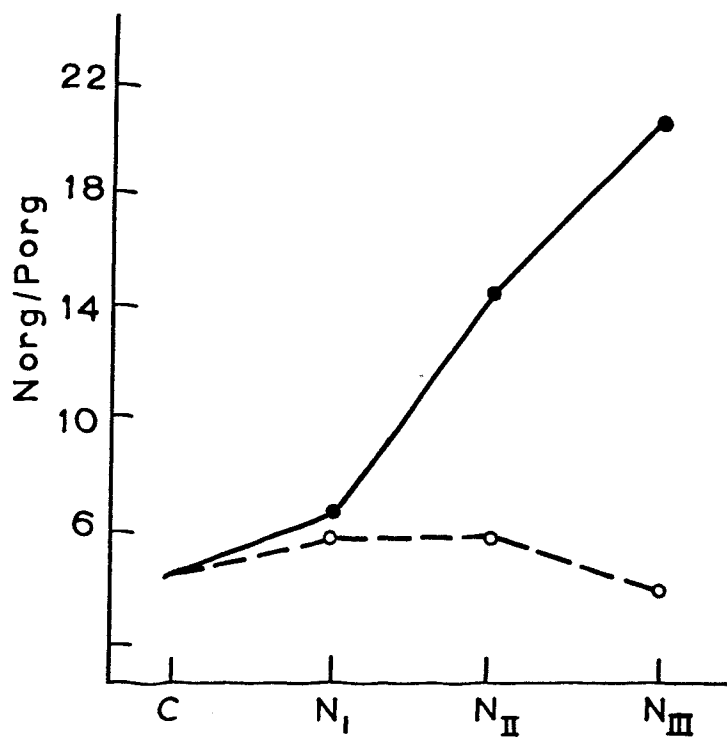


FIG. 36 - VARIACIÓN DE LA RELACION  $\text{NO}_3^-/\text{PO}_4\text{H}_2^-$  CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA (PLANTA ENTERA),

●  $\text{M}_2\text{NaCl}$       ○  $\text{M}_2\text{PEG}$





**FIG. 37** - VARIACIÓN DE LA RELACION NORG/PORG CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA(ENTRENUDOS).

●  $M_2NaCl$     ○  $OM_2PEG$

### Cationes.

El contenido de K en el  $M_{2NaCl}$ , tabla nº 61 aumenta con el incremento de la presión osmótica al pasar del  $N_I$  al  $N_{II}$ . Respecto al control experimenta una disminución en  $N_I$ , que luego desaparece en  $N_{II}$  y  $N_{III}$ . Este comportamiento del  $K^+$  es debido a la acción del Na. Los valores de la relación  $K^+/Na^{++}$ , tabla nº 62, permiten explicar el aumento de contenido en K al pasar del  $N_I$  a los niveles superiores, debido a que ha aumentado mucho el contenido en Na y por tanto, se puede producir mas absorción de K con objeto de mantener la relación K/Na, dentro de ciertos valores, aunque esta relación sigue disminuyendo con el aumento de la presión osmótica.

El antagonismo  $Na^+-K^+$  queda de manifiesto en los valores de la relación, que disminuyen considerablemente. A los mismos resultados se llega considerando el K como  $K^+ \Sigma C$  y el Na como  $Na^+ \Sigma C$ , tabla nº 62, observándose que al aumentar el contenido en Na disminuye el contenido en  $K^+$ . El antagonismo  $Na^+-K^+$  queda claro en la fig. nº 38, donde se representa el  $K^+ \Sigma C$  y  $Na^+ \Sigma C$ , con la variación de la presión osmótica.

En el  $M_{2PEG}$ , el contenido en  $K^+$  es mayor que para el control y prácticamente no varía con el aumen

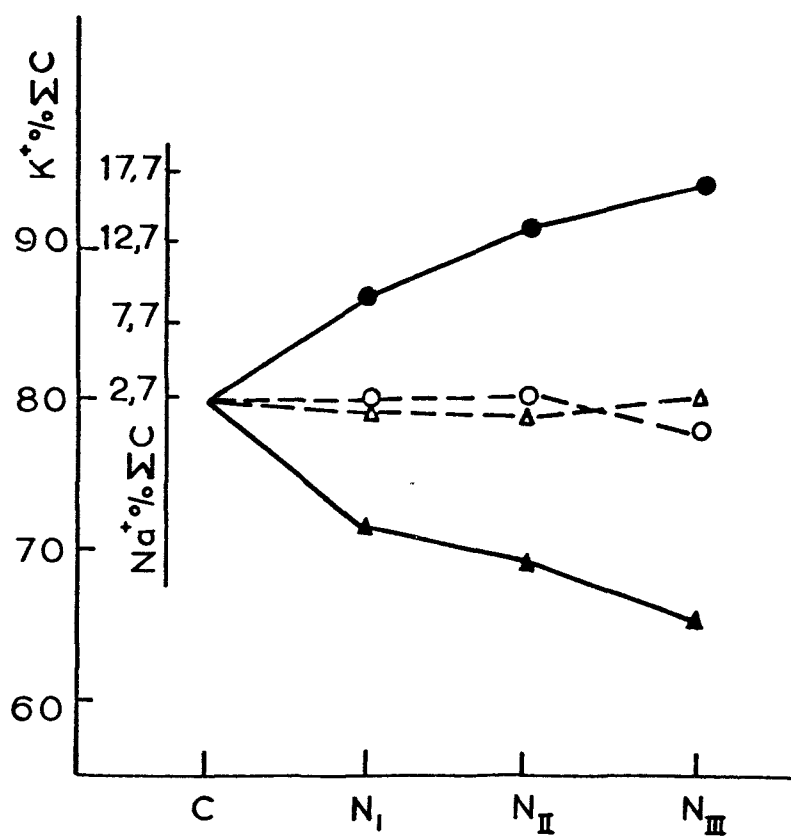


FIG. 38. VARIACIÓN DEL CONTENIDO EN  $\text{Na}^+$  Y  $\text{K}^+$  CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA (PLANTA ENTERA).

○  $\text{Na}^+$  en  $\text{M}_{2\text{PEG}}$  ●  $\text{Na}^+$  en  $\text{M}_{2\text{NaCl}}$   
 △  $\text{K}^+$  en  $\text{M}_{2\text{PEG}}$  ▲  $\text{K}^+$  en  $\text{M}_{2\text{NaCl}}$

to de la presión osmótica, lo cual se observa tanto en los valores en mgr/l, tabla nº 61, como en los de  $K\% \Sigma C$ , tabla nº 62.

Por tanto, el efecto específico del NaCl, influye en el contenido de  $K^+$  con la variación de la presión osmótica, mientras que el efecto osmótico - aumenta el contenido de  $K^+$  independientemente de la presión osmótica.

En ambos tratamientos, el contenido de Mg aumenta con la presión osmótica, adquiriendo valores muy parecidos al control en el  $M_{2NaCl}$ . Los valores de la relación  $Mg^{++}/Na^+$ , tabla nº 62, son mucho menores que para el control debido al aumento de contenido en  $Na^+$ .

En la planta entera en el  $M_{2NaCl}$ , el  $Cl^-$  aumenta con el incremento de la presión osmótica. Este aumento se observa mejor en los resultados de los entrenados. También se observa en el  $M_{2PEG}$ , que el efecto osmótico si bien incrementa ligeramente el contenido de  $Cl^-$ , no varía en su intensidad con el incremento en la presión osmótica.

#### Azúcares reductores.

En el  $M_{2NaCl}$ , el contenido en azúcares au-

menta respecto al control. En el  $M_{2PEG}$ , al pasar del control al  $N_I$  disminuye y luego aumenta a partir de este nivel al incrementarse la presión osmótica.

En la tabla nº 64, se encuentran los valores de azúcares reductores en la savia de los entrenudos. Se observa, que para ambos tratamientos se produce un incremento del contenido en azúcares reductores con el aumento de la presión osmótica, si bien en el nivel  $N_I$  el comportamiento es distinto, pues en el  $M_{2NaCl}$ , aumenta respecto al control, mientras que en el  $M_{2PEG}$ , permanece con un valor análogo al control.

En la fig. nº 39, se representan los distintos contenidos en azúcares reductores obtenidos en la planta entera y en los entrenudos. Como se observa por los datos del análisis de ambos órganos, se producen las mismas tendencias y como ocurre en el experimento de maíz con  $MgSO_4$ , los entrenudos, son mucho mas representativos que la planta entera para el análisis de azúcares reductores en la planta de maíz y en el estado de desarrollo de nuestro experimento.

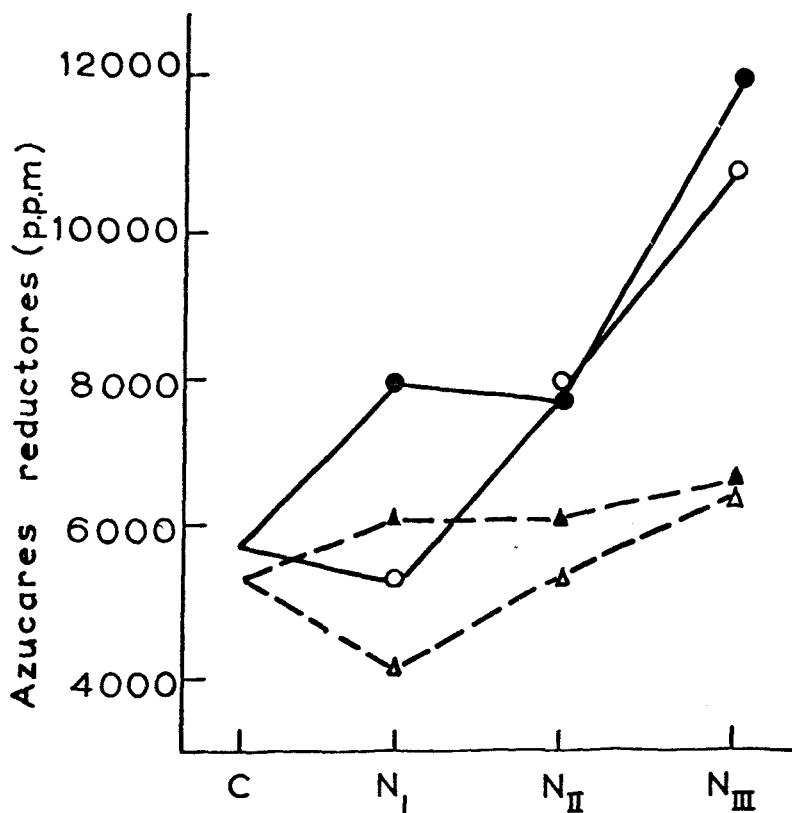


FIG 39 - VARIACIÓN DE LOS AZÚCARES REDUCTORES CON EL AUMENTO DE LA PRESIÓN OSMÓTICA EN SAVIA DE LOS ENTRENUDOS Y DE LA PLANTA ENTERA.

▲ M<sub>2</sub>NaCl

△ M<sub>2</sub>PEG (ENTRENUDOS)

● M<sub>2</sub>NaCl

○ M<sub>2</sub>PEG (PLANTA ENTERA)

1 11

## 5. RESUMEN.

En el presente trabajo, se ha estudiado el comportamiento de plantas de maíz y tomate ante soluciones isoosmóticas conseguidas por la adición, a la solución nutritiva base, bien de un agente osmótico (PEG-4.000), o de una sal ( $\text{NaCl}$  o  $\text{MgSO}_4$ )

### Sistema de cultivo.

Para el estudio del tema propuesto, se ha elegido el procedimiento de cultivo hidropónico, por ser el único que reúne las condiciones necesarias, - para poder aplicarse al estudio específico que se va a llevar a cabo.

Se ha diseñado y puesto en funcionamiento, un sistema automático para el cultivo hidropónico de agua, mediante el cual, se puede mantener la concentración de la solución nutritiva con pequeñas variaciones.

### Planteamiento experimental.

A la planta de tomate, se han aplicado presiones osmóticas de 3.0, 5.0 y 7.0 atm. y a la planta de maíz de 2.0, 3.5 y 5.0 atm.



### Análisis realizados.

Se han efectuado los análisis foliar y de savia y se ha puesto a punto un método analítico para la determinación del PEG en la materia vegetal.

### Síntomas de absorción del PEG-4.000 por las plantas.

Debido a que en la bibliografía no se describen los síntomas de toxicidad producidos por el PEG-4.000 en las plantas de tomate y maíz, consideramos importante su estudio.

En plantas de tomate y maíz empiezan a manifestarse los síntomas visuales de absorción del PEG-4.000 por las hojas inferiores extendiéndose posteriormente al resto de la planta.

Como síntomas visuales destacan: la deshidratación de las hojas, el color verde mas claro en las zonas intervenales, la aparición de zonas necróticas en el extremo de las hojas que posteriormente afectan a los bordes.

Niveles inferiores a 1mg PEG-4.000/gr. hoja fresca, no producen síntomas visuales de absorción de PEG-4.000.

## Resultados.

El aumento de la presión osmótica, independientemente del compuesto ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  o PEG-4.000), utilizado para aumentarla, provoca una disminución en el peso húmedo de las plantas de maíz y tomate, que llega a adquirir valores superiores al 50%.

El análisis foliar de las plantas sometidas a tratamiento de PEG-4.000, indica una absorción de cationes mayor que para el control siendo el potasio el que se absorbe en mas cantidad en valor absoluto. Estos resultados son los que se debían esperar, ya que la planta tiende a conservar la diferencia de la presión osmótica interna con la externa, en valores análogos a los que existen en plantas cultivadas en la solución nutritiva base y para ello, absorbe los elementos que tiene a su disposición en el medio nutritivo, siendo el potasio, debido probablemente a su movilidad, el que se absorbe en mayor cantidad.

En los tratamientos salinos, al no estar equilibrado el medio nutritivo, se produce una mayor absorción de la sal presente en mayor concentración, lo que provoca fenómenos de interferencia, como consecuencia de los cuales las relaciones entre elementos

en el interior de la planta pueden adquirir valores distintos a los de la planta control.

La reacción de la planta de maíz y tomate es distinta para un mismo tratamiento salino( tratamiento de NaCl). La planta de tomate absorbe mucho mas sodio que la planta de maíz, lo que produce un notable aumento en la  $\Sigma C$  de la primera, mientras en la planta de maíz no se manifiesta.

La reacción de una misma planta(maíz) es distinta frente a diferentes sales. Con el sulfato magnésico, tanto la suma de aniones como de cationes, es inferior al control, mientras que con el cloruro sódico la suma de cationes es prácticamente lo mismo que para el control y la de aniones es mayor.

El análisis de savia nos indica que tanto el sulfato magnésico como el cloruro sódico provocan la misma reacción con respecto a  $N(NO_3^-)$  pues se produce una menor concentración de  $N(NO_3^-)$  en la planta, que se manifiesta con mas intensidad en la savia de los entrenudos, por tanto, esta parte de la planta es la mas indicativa para el análisis de nitratos en savia de maíz, en el período vegetativo de las plantas de nuestros experimentos.

La planta de maíz reacciona de distinta forma ante la influencia del efecto específico de la sal. Las plantas cultivadas con sulfato magnésico poseen en savia una mayor concentración en azúcares reductores que el control, mientras que, aquellas a las que se aplicó el tratamiento de cloruro sódico, su concentración en azúcares reductores es parecida al control. Es en los entrenudos donde aparecen las mayores diferencias de azúcares reductores para los distintos niveles de presión osmótica aplicados al maíz, por tanto son los entrenudos la parte de la planta mas indicativa de contenido de azúcares reductores. También para el análisis de cloruros, son mas indicativos los valores obtenidos en la savia de los entrenudos.

Por efecto de la presión osmótica, se produce en los tratamientos salinos y en el tratamiento con PEG-4.000, un desequilibrio en la transformación de las formas minerales a las orgánicas, tanto en la fracción nitrogenada como en la fosfórica.

C O N C L U S I O N E

. Conclusiones.

1a. El aumento de la presión osmótica del medio nutritivo, independientemente del compuesto ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  o PEG-4.000), utilizado para aumentarla, provoca una disminución en el peso húmedo de las plantas de maíz y tomate, que llega a adquirir valores superiores al 50%. Esta disminución se debe al efecto osmótico, produciéndose pesos menores a medida que la presión osmótica del medio exterior se eleva.

El efecto específico, tanto del cloruro sódico como del sulfato magnésico, contrasta en parte la acción del efecto osmótico, ya que se acusa una menor disminución del peso fresco de la planta en los tratamientos salinos que en los de PEG-4.000.

Análoga influencia se ejerce sobre el peso seco.

2a El efecto osmótico provoca una mayor absorción de cationes, tanto en la planta de maíz como de tomate, con objeto de elevar su presión osmótica interna hasta valores cuya diferencia con la presión osmótica externa sea lo mas similar posible

a la existente entre la planta control con su medio exterior nutritivo.

La absorción no es igual en valor absoluto para todos los elementos siendo el potasio el que se absorbe con mas intensidad, posiblemente por su mayor movilidad, a pesar de estar sometida la planta a un medio nutritivo equilibrado,

- 3a Para la planta de maíz a pesar de su aumento de contenido en potasio se conserva el mismo porcentaje de este elemento respecto a la suma de cationes que para el control.

Para la planta de tomate, el aumento del contenido en potasio se corresponde también con un aumento del porcentaje respecto a la suma de cationes.

- 4a El efecto osmótico no influye en la concentración de cloruros ni en la de sodio, en la planta de maíz. Sin embargo, influye en la de sodio en la planta de tomate.

Estos resultados indican que las plantas reaccionan de forma distinta al efecto osmótico. El maíz, como planta que no responde al sodio, no

aumenta su contenido en este elemento ante presiones osmóticas superiores a las normales, mientras que el tomate, en el cual ejerce un efecto beneficioso el sodio, aumenta la absorción del mismo.

- 5a El efecto específico del cloruro sódico induce una interacción Na-K, en las plantas de tomate y de maíz mucho más fuerte para la primera que para el maíz. Esta interacción Na-K es de tal intensidad que llega a contrarrestar el efecto osmótico mediante el cual la planta sometida a presiones osmóticas más elevadas que la normal absorbe más potasio que la planta control.

De las diferentes partes de la planta de maíz que se han analizado, se deduce que las más indicativas para detectar la interacción Na-K, son la planta entera y la raíz.

- 6a Mediante el efecto específico del cloruro sódico, se aumenta notablemente la suma de cationes en la planta de tomate, mientras que este aumento no se manifiesta para la planta de maíz.

Este diferente resultado es debido fundamentalmente al cambio que experimenta la planta en su contenido en sodio. Mientras el maíz experimenta solo



un ligero aumento, para el tomate la diferencia en contenido en sodio con respecto al control es muy elevada, por ser una planta con altas necesidades en sodio que toma del medio exterior, si en el lo encuentra a su disposición, en cantidades apreciables sin acusar síntomas de toxicidad.

- 7 El efecto específico del cloruro sódico produce una interacción  $\text{Cl}^- - \text{NO}_3^-$ , como consecuencia de la cual disminuye la concentración de  $\text{N}(\text{NO}_3^-)$  en savia, al mismo tiempo que se produce un desequilibrio en el metabolismo nitrogenado y fosforado que se manifiesta en una menor concentración de  $\text{N}_{\text{am}}$  y  $\text{P}_p$  con respecto a la concentración de la fracción mineral.
- 8a El efecto específico del sulfato magnésico produce una disminución en el contenido de agua de la planta de maíz.
- 9a El efecto específico del sulfato magnésico provoca una disminución en el contenido de potasio y calcio, independientemente del nivel de presión osmótica.
- 10a En la planta de maíz, por el efecto específico del sulfato magnésico, se produce una disminución en

la suma de aniones y cationes.

- 11a El efecto específico del sulfato magnésico provo  
ca una menor concentración en  $N(NO_3^-)$  y en  $P(PO_4H_2^-)$   
y una mayor concentración en azúcares reductores  
en la savia de maíz, tanto en la de la planta en-  
tera como en la de los entrenudos.
- 12a El aumento de la presión osmótica del medio nutri-  
tivo por la adición de PEG-4.000, provoca un in-  
cremento en la concentración de  $P_p$  en la savia  
extraída de los dos primeros entrenudos. El efec-  
to específico del sulfato magnésico refuerza la  
acción del efecto osmótico, siendo pues mucho ma  
yor el aumento de  $P_p$  en el tratamiento de sulfa-  
to magnésico.
- 13a El análisis de savia de los dos primeros entrenu-  
dos es más indicativo que la planta entera, pa-  
ra la determinación de azúcares reductores, ni-  
tratos y cloruros.
- 14a El aumento de la presión osmótica produce tanto  
en el tratamiento con PEG-4.000 como en los tra-  
tamientos salinos, una serie de modificaciones  
en las transformaciones del nitrógeno y fósforo  
minerales a fracciones orgánicas que producen

valores distintos en las relaciones  $Nm\%NST$  y  $Pm\%PST$  con respecto al control, lo que indica la influencia de la presión osmótica sobre el metabolismo vegetal.

15a La absorción de PEG-4.000 por la planta de tomate y maíz se caracteriza por una serie de síntomas visuales:

· La aparición de síntomas empieza por las hojas inferiores, posteriormente se extiende hacia las superiores. Dentro de la hoja aparecen primero por el ápice y mas tarde continúa hacia la base.

· Deshidratamiento de las hojas.

Cuando la absorción es muy elevada la planta de tomate cesa de crecer.

La planta de tomate presenta una serie de síntomas de toxicidad frente al PEG-4.000:

· Color verde mas claro en las zonas intervenales de los foliolos, durante algunos días.

· Al ir progresando la absorción, aparece el borde de los foliolos mas claro hasta llegar a secarse por el extremo y posteriormente por los bordes.

Cuando la absorción de PEG-4.000 es muy grande los brotes aparecen verde-oscuro-grisáceo.

Los síntomas característicos de la planta de maíz son

Color verde mas claro y sin brillo en el extremo, bordes, y en las zonas intervenales. Al ir progresando la absorción aparecen zonas necróticas en el extremo de la hoja que posteriormente afectan a los bordes.

16 $\frac{3}{4}$  Contenidos de hasta 1 mgPEG-4.000/g hoja fresca no inciden en el aspecto normal de la planta de tomate.

I B L I O G R A F I

- (1) ALBERTES, R.S.; FISCUS, E.L.; MAYLOR, A.W., 1975.  
The effects of water stress on the development of the photosynthetic apparatus in greening leaves. *Plant. Physiol.*, 55, 315-321.
- (2) ALLERUP, S. and HANSEN, P., 1963. Inulin blocking of water transport and its effect on transpiration. *Physiologia Pl.*, 16, 721.
- (3) ANDREW, C.S. and PIETERS, W.H.J., 1962. A continuous nutrient flow technique for comparative studies in plant nutrition. *Aust. J. Agric. Res.* 12:1051.
- (4) APPELEGATE, H.G., 1960. Freezing point depression of Hoagland's "Carbowax" systems. *Nature*, 186, 232-233.
- (5) ARNON, I., 1975. Mineral nutrition of Maize. International Potash. Institute, Bern, Switzerland.
- (6) BARDAJI, C.; RISSEW, I. 1971. Algunos aspectos sobre la recuperación con riego de los suelos salino-alcalinos de la margen derecha del bajo Guadalquivir. *International Society of Soils Science-Salt - affected Soils subcommission. Meeting-Sevilla.*
- (7) BLACK, C.A., 1975. Relaciones suelo-planta. Edit. Hemisferio Sur.

- (8) BERNSTEIN, L., 1961. Tolerance of plants to salinity Irrigation and Drainage Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol 87, No. 1R4, December 1961.
- (9) BERNSTEIN, L., 1961. Osmotic adjustment of plants to saline media. I steady state. Amer. Jour.Bot., 48, 909-918.
- (10) BERNSTEIN, L., 1963. Osmotic adjustment of plants to saline media. II Dynamic phase. Amer. Jour. Bot., 50, 360-370.
- (11) BERNSTEIN, L., 1964. citado en Arnon I. Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute, Switzerland.
- (12) BERNSTEIN, L. and HAYWARD, H.E., 1958. Physiology of salt tolerance. Ann. Review of Plant Physiol.
- (13) BERNSTEIN, L. and PEARSON, G.A., 1956. Influence of exchangeable sodium on the yield and chemical composition of plants: I. Green beans garden beets clover and alfalfa. Soil Sci. 82, 247-258.
- (14) BOYER, J.S. and KNIPLING, E.B., 1965. Isopiestic technique for measuring leaf water potentials with a termocouple psychrometer. Proc. Nat. Acad. Sci. UAS. 54, 1044-1051.

- (15) BURLYN, E.M. and KAUFMANN, M.R., 1973. The osmotic potential of PEG-6.000. Plant Physiol. 51, 914-916.
- (16) BURRIEL, J. y HERNANDO, V., 1947. El fósforo en los suelos. Contribución a la determinación colorimétrica del fósforo. Anal. Edaf. Eco. Fis. Veg. VI, 543-582.
- (17) CADAHIA, C., 1971. Determinación semiautomática de azufre orgánico y mineral en muestras agrícolas - con aparato Leco. Anal. Edaf. Agrob. XXX, 817-826.
- (18) CADAHIA, C., 1973. Determinación simultánea de nitrógeno y fósforo en suelos y plantas con un sistema Autoanalizador. Anal. Edaf. Agrob. XXXII, 479-500.
- (19) CADAHIA, C. y PIÑERO, M.T., 1974. Determinación de glúcidos en plantas por fotocolorimetría. Estudio de métodos clásicos y automáticos. Anal. Edaf. Agrob., XXXIII, 901-919.
- (20) CARO FERNANDEZ, 1976. Suelos salinos y procesos de salinización en el Suroeste español. Tesis Doctoral Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura.
- (21) CHABOUSSOU, F., 1973. Le rôle du potassium et de l'équilibre cationique dans la résistance de la plante



aux parasites et aux maladies. Le document technique de la SCPA 16, 1-26, visto en OLLANIER, M. -- and RENARD, J.L., 1977. The influence of potassium on the resistance of oil palms to Fusarium, Fertilizer Use of Plant Health. Proceedings of the - 12th Colloquium of International Potash Institute.

- (22) CHAMEL, A., BOUGIE, B., 1974. Effect du potentiel osmotique du milieu nutritif des raices sur la penetration et la migration du <sup>42</sup>K fourni par voie - foliare. Can. J. Bot. 52:1469.
- (23) CHAPMAN, H.D., 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (24) CHAPMAN, H.D. and LIEBING, G.F., 1938. Adaptation and use of automatically operated sand-culture equipement. J. Agric. Res. 56:73.
- (25) COOPER, A.J. and CHARLESWORTH, R.R., 1977. Nutritional control a nutrient-film tomato crop. Scientia Horticulturæ 7:189.
- (26) DABIN, B., 1967. Cahiers O.R.S.T.O.M. serie Pédalogie vol. V n° 3. Application des dosages automati-ques a l'analyse des sols.

- (27) DeCKOCK, P.C. and HALL, A., 1962. The effect of nutrient concentration upon the growth and mineral composition of mustard plants. *Agrochimica* 7:89.
- (28) DeCKOCK, P.C., HALL, A. and McDONALD, M., 1960. A relation between the ratios of phosphorus to iron and potassium to calcium in mustard leaves. *Plant and Soil*. 12:128.
- (29) DIDIER, J., DE ST. AMAND, G.G., et LEFRANC, M.C., 1967. Methodes des dosages effectuées par l'autoanalyse au laboratoire de diagnostic foliaire de l'O.R.S.T.O.M.
- (30) EATON, F.M., 1941. Water uptake and root growth as influenced by inequalities in the concentration of the substrate. *Plant Physiol*. 16:545.
- (31) EATON, F.M., citado en pag. 98 de Chapman, 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (32) EATON, F.M., citado en pag. 444 de Chapman, 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (33) EATON, F.M. and BERNARDIN, J.E., 1962. Soxhlet-Type automatic sand cultures. *Plant Physiol*. 37:357.

- (34) EHLING, C.F., 1962. Measurement of energy status of water in plants with a termocouple psycometer. Plant Physiol. 37:288.
- (35) EMBLENTON, T.W., visto en Chapman, 1966. Diagnòs-tic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (36) ERLANDSSON, G., 1975. Rappid effects on ion and water uptake induced by changes of water potential in young wheat plants. Physiol. Plant 35:256.
- (37) FUJINUMA, Y., TANAKA, F., 1975. Salt injury of crops as affected by fertilizer application and soil condition. Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences B. No.26 1-94(citado en Herbage Abstracts 1976).
- (38) GAUCH, H.C., and WADLEIGH, C.H., 1944. Effects of high salt concentration on growth of bean plants. Bot. Gaz. 105:379.
- (39) GAUCH, H.C. and WADLEIGH, C.H., 1945. Effect of high concentrations of sodium, calcium, chloride and sulphate on ionic absorption by bean plants. Soil Sc. 59:139.

- (40) HAAHR, V., 1975. Comparison of omanual and automa-  
tic irrigation of pot experiment. Plant and Soil  
43:497.
- (41) HAMID, A. and TALIBUDEEN, O., 1976. Effect of so-  
dium on the growth and ion absorption by barley,  
sugar beet and broad beans. J. Agric. Sci. Camb.  
86:49.
- (42) HAYWARD, H.E. and SPURR, W.B., 1944. Effect of  
isosmotic concentrations of inorganic and organic  
substrates on entry of water into corn roots. Bot.  
Gaz. 106:131.
- (43) HERNANDO, V. y CADAHIA, C., 1973. El análisis de  
savia como índice de fertilización. Manuales de  
Ciencia Actual. C.S.I.C
- (44) HEWITT, E.J., 1966. Sand and water culture methods  
use in the study of plant nutrition. Technical Com-  
munication No 22. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- (45) HILGARD, E.W., 1930. Soils. The MacMillan Co. New  
York.
- (46) HDAGLAND, D.D. and ARNON, D.E., 1938. The water cul-  
ture method for growing plant without soil, Univ.  
.Calif. Agric. Exp. Sta. Cir. 347:1-39.

- (47) HOAGLAND, D.D.. and SNYDER, citado en Hewitt, 1966. Sand and water culture methods use in the study of plant nutrition. Technical Communication No 22. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- (48) HYDEN, S., 1956. A turbidimetric method for determination of highger polyethylene glycols in biological materials. Kungl. Lautbrukshogs kolans annales 22:139
- (49) HYDEN, S., 1955. A turbidimetric method for determination of highger polyethylene glycols in biologicals materials. Ann. Roy. Agr. Coll. Sweden 22: 139.
- (50) IGNATIEFF, V. and PAGE, H.J., 1958. Efficient use of fertilizers. Food and Agriculture Organisation. Rome, citado en Arnon I, Mineral Nutrition of Maize International Potash Institute. Switzerland.
- (51) JACKSON, W., 1962. Use of carbowaxes as osmotic agents. Plant Physiol. 37:513.
- (52) JANES, B.E., 1961. Use of PEG as a solvent to increased the osmotical pressure of nutrient solution in studies on the physiology of water in plants. Physiol. 36:XXIV.

- (53) JANES, B.E., 1968. Effects of extended periods of osmotic stress on water relationships of pepper. *Physiol. Plant.* 21:334
- (54) JANES, B.E., 1966. Adjustment mechanisms of plants subjected to varied osmotic pressures of nutrient solution. *Soil Science.* 101:180.
- (55) JANES, B.E., 1974. The effect of molecular size, concentration, in nutrient solution and exposure time on the amount and distribution of PEG in pepper plants. *Plant Physiol.* 54:226.
- (56) JARVIS, P.G. and JARVIS, M.S., 1963. Effects of several osmotic substrates on the growth of *Lupinus albus* seedlings. *Physiol. Plant.* 16:485.
- (57) JOHNSON, C.M. and ATKINS, S., 1939. An automatic plant irrigator and recorder. *Plant Physiol.* 14:391.
- (58) JONES, W.W., citado en Chapman, 1966. Diagnostic - criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (59) KAUFFMANN, M.R., 1969. Effects of water potential on germination of lettuce, sunflower and citrus seeds. *Can. J. Bot.* 47:1761

- (60) KAUFFMANN, M.R. and ECKARD, A.N., 1971. Evaluation of water stress control with PEG by analyses of glutation. Plant. Physiol. 47:453.
- (61) KEARNEY, T.V. and HARTER, L., 1907. Comparative resistance of different plants to salts of solonets soils. A thesis by S. Zakharov-Zhurmal opytnoi agromi, vol. X, 1909, 1907(citado en pag. 33 de Strogonov, B.P., Physiologu of salt tolerance of plants, Jerusalem 1964).
- (62) LARGERWERFF, J.V. and EAGLE, H.E., 1961. Osmotic and specific effect of excess salts on beans. Plant Physio. 36:472.
- (63) LARGERWERFF, J.V. and HOLLAND, J.P., 1960. Growth and mineral content of carrots and beans as related to varying osmotic and ionid-composition effects in saline-sodic sand cultures. Agron. J. 52:603.
- (64) LARGERWERFF, J.V., OGATA, G. and EAGLE, H., 1961. Control of osmotic pressure of culture solutions with PEG. Scienc. 133:1486.
- (65) LANG, A.R.G., 1967. Osmotic coefficients and water potentials of ClNa solutions from 0 to 40°C. Aust. J. Chem. 20:2017.

- (66) LAWLOR, D.W., 1973. Growth and water absorption of wheat with parts of the roots at different water potentials. *New Phytol.* 72:297.
- (67) LAWLOR, D.W., 1970. Absorption of polyethylene glycols by plants and their effects on plant growth. *New Phytol.* 69:501.
- (68) LAWLOR, D.W. and MILFORD, G.F.J., 1973. The effect of sodium on growth of water-stressed sugar beet. *Ann. Bot.* 37:597.
- (69) LESHEM, B., 1966. Toxic effect of carbowax on pine *shalipensis* seedlings. *Pl. Soil.* XXXIV:332.
- (70) LOOMIS, W.D. and BATTLE, J., 1966. Plant phenolic compounds and the isolation of plant enzymes. *Phytochemistry* 5:423.
- (71) LUNTOR, citado en Chapman, 1966. Diagnostic criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (72) MAGISTAD, O.C., AYERS, A.D., WADLEIGH, C.H. and GAUCH, H.G., 1943. Effect of salt concentration, Kind of salts, and climate on plant growth in sand cultures. *Plant Physiol.* 18:151.



- (73) MACKLON, A.E.S. and WEATHERLEY, P.E., 1965. Controlled environment studies of the nature and origins of water deficits in plants. New Phytol. 64:414.
- (74) MERCADO, B.T., 1960. The NaCl-resistance of Beta vulgaris var. crassa, Phaseolus vulgaris var. marinus and var. vulgaris and Zea mays. Protoplasma - 69:151.
- (75) Métodos de referencia para la determinación de elementos minerales en vegetales. Anal. Edaf. Agrob. XXVIII:409.
- (76) MEXAL, J., FISMER, J.T., OSTERYOUNG, J. and PATRIC REID, C.P., 1975. Oxygen availability in Polyethylene glycol solutions and its implications in Plant-water relations. Plant Physiol. 55:20.
- (77) MICHEL, B.E., 1970. Carbowax 6.000 compared with mannitol as a suppressant of cucumber hypocotyl elongation. Plant Physiol. 45:507.
- (78) MILLER, G.W., BROWN, J.C. and HOLMES, R.S., 1960. Chlorosis in soybean as related to iron, phosphorus bicarbonate and cytochrome oxidase activity. Plant Physiol. 35:619.

- (79) OLSON, R.A. and LUCAS, R.E., 1966. Fertility requirements secondary and micronutrients, pag. 285-330 Advances in Corn Production citado en Arnon I., Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
- (80) PANDYA, R.B., GUPTA, S.K., KHAN, M.I. and DHISARD, S., 1972. Effect of PEG induced stress on germination, moisture uptake, seedling growth and nitrogen metabolism of Brown sarson (*Brassica campestris*) Biochem. Physiol. Pflanz 163:392.
- (81) PARMAR, M.T. and MOORE, R.P., 1968. Carbowax 6.000 manitol and sodium chloride for stimulating drought conditions in germination studies of corn (*Zea mays* L.) of strong and weak vigor Agro. J. 60:192.
- (82) PATEL, P., WALLACE, A., 1976. P fertility and mixed salinity on growth and Ca, Mg, Na, P and Cl concentrations of tomato, corn and sudan grass grown in sand culture. Comm. in Soil Science and Plant Analysis. 7:375.
- (83) PIÑERO, M.T., 1975. Estudio de la incidencia del boro en la nutrición de las plantas de tomate, rendimientos y calidad de frutos. Tesis Doctoral. Instituto de Edafología y Biología Vegetal. Universidad

Complutense.

- (84) PIPER, C.S., 1947. Soil and Plant analysis. Inter  
science publishers Inc. New York.
- (85) Poliglicoles, Hoechst, Propiedades y aplicaciones de  
los polietilenglicoles, Farbwerke Hoechst AG, 6230  
Frankfurt (M) 80, Verkauf Organische Chemikalien.
- (86) POSPISILOVA, J., 1977. Water relations in primary  
leaves of beans plants treated with PEG solutions.  
Biol. Plant. 19:316.
- (87) PRATT, P.F., citado en Chapman, 1966. Diagnostic  
criteria for plants and soils. Div. Agr. Sci. Univ.  
California, Berkeley.
- (88) REID, C.P., BROWEN, G.D. and McCLEOD, S., 1978.  
Phosphorus contamination in Polyethylene Glycol.  
Plant Physiol. 61:708.
- (89) RESNIK, M.E., 1970. Effect of manitol and polyethy-  
lene glycol on phosphorus uptake by maize plants.  
Ann. Bot. 34:497.
- (90) RICHARDS, L.A. and OGATA, G., 1958. Thermocouple  
for vapor pressure measurement in biological and -  
soil systems at high humidity. Science. 128:1089.

- (91) ROUTCHENKO, W., 1967. Appreciation des conditions de la nutrition minerale des plantes baséé sur l'analyse des sucs extraits des tissus conducteurs. Ann. Agron. 18:361.
- (92) RUF, R.H.Jr., EKERT, R.E. and GIFFORD, R.O., 1966. Components of osmotic adjustment of plants to rapid changes in root medium osmotic pressure. Soil Sci. 104:159.
- (93) SAINT-CLAIR, P.M., 1976. Germination of sorghum bi color under PEG-induced stress. Can. J. Plant. Sci. 56:21.
- (94) SANCHEZ CONDE, M.P., 1976. Aplicación de sulfato magnésico en la corrección de los efectos de salinidad producidos por el cloruro sódico en el tomate. Anal. Edaf. Agrob. XXXV:13.
- (95) SANCHEZ CONDE, M.P., 1976. Estudio de la interacción K-Ca en plantas de lechuga de diferente desarrollo. Anal. Edaf. Agrob. XXXV:1231.
- (96) SANCHEZ CONDE, M.P. y HERNANDO, V., 1966. Respuesta de la lechuga ante distintas concentraciones de sulfato potásico o cloruro potásico en diferentes épocas del año. Anal. Edaf. Agrob. XXV:379.

- (97) SANDS, R., CLARKE, A.R.P., 1977. Response of Radiata Pine to salt stress. I water relations, osmotic adjustment and salt uptake. Aust. J. Plant. - Physiol. 4:637.
- (98) SANDU, G., 1971. Proposals concerning the intensification of the european working group activity on saline and alkali soil reclamation. International Society of Soils Science-Salt affected soils sub-comission meeting . Sevilla.
- (99) SHAW, R.H., 1976. Moisture stress effects on corn in Iowa in 1974, Iowa St. J. Res.. 50:335.
- (100) SLATYER, R.O., 1961. Effects of several osmotic substrates on the water relationships of tomato. Aust. J. Biol. Sci. 14:519.
- (101) SOMOGYI, M., 1945. Determination of blood sugar. J Biol. Chem. 160:69.
- (102) SPRINGERR, LANG, R., 1968. Deutsches Apothekerzeitung 108:1065, citado en Poliglicoles Hoechst.
- (103) STROGONOV, B.P., 1964. Physiological basis of salt tolerance of plants(as affected by various types of salinity). Academic of Sciences of the U.S.S.R.

- (104) SWAN, H.S.D., 1963. An automatic sub-irrigation sand culture apparatus. For. Sci. 9:63.
- (105) TADOKORO, H., et al. 1964. Quimica Macromolecular. 73:109.
- (106) ULRICH, A. and OHKI, K., citado en Chapman, 1966. Diagnostic criteria for plants and Soils. Div. Agr. Sci. Univ. California, Berkeley.
- (107) VON H. VAN HAUT, SCHOLL, G. und G. VAN HAUT, 1972. Ein doppelwandiges vegetationsgefäß aus Kunststoff mit selbsttätiger bewässerung. Landwirtschaftliche Forschung 25:42.
- (108) W.van DRIEL, citado en HEWITT, E.J., 1966. Sand and water culture methods used in the study of plant nutrition. Commonwealth Agricultural Bureaux.
- (109) WILLIAMS, D.E., 1961. The absorption of potassium as influenced by its concentration in the nutrient medium. Plant and Soil. 15:387.
- (110) WILLIAMS, J., SHAYKEWICH, C.F., 1969. An evaluation of PEG-6.000 and PEG-20.000 in the osmotic control of soil water matric potential. Can. J. Soil Sci. 49:397.

E S T U D I O    E S T A D I S T I Ç O

Modelo factorial mixto.

Factores: A - tratamientos

B - niveles

Modelo jerarquico simple.

Factor: - tratamientos

Niveles de significación.

(\*\*\*) , (\*\*) , (\*) significativo al nivel 1% , 5% y 10%  
de probabilidad respectivamente.



EXPERIMENTO DE MAIZ CON  $\text{MgSO}_4$ .

Analisis foliar. Parte aerea. (Modelo Factorial mixto)

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
	A	1	5,810	5,810	12,10*
	B	2	0,681	0,340	9,12***
	AB	2	0,960	0,480	12,97***
	Error exp.	18	0,680	0,037	
	Total	23	8,131		
	A	1	0,825	0,825	6,70
	B	2	0,114	0,057	8,14***
	AB	2	0,246	0,123	17,57***
	Error exp.	18	0,125	0,007	
	Total	23	1,310		
$\text{S}(\text{SO}_4^{=})$	A	1	0,336	0,336	30,54**
	B	2	0,020	0,010	10,00***
	AB	2	0,022	0,011	11,00***
	Error exp.	18	0,018	0,001	
	Total	23	0,396		

Elemento	Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
	A	.	0,365	0,365	21,47**
	B	2	0,076	0,038	25,33***
	AB	2	0,034	0,017	11,33***
	Error exp.	18	0,028	0,001	
	Total	23	0,503		
	A	.	41,900	41,900	26,18**
	B	2	2,000	1,000	9,09***
	AB	2	3,200	1,600	14,54***
	Error exp.	18	2,000	0,110	
	Total	23	49,100		
Ca	A	.	0,590	0,590	29,50**
	B	2	0,020	0,010	5,00**
	AB	2	0,050	0,020	10,00***
	Error exp.	18	0,040	0,002	
	Total	23	0,700		
Mg	A	.	1,09	1,090	72,66**
	B	2	0,10	0,050	16,66***
	AB	2	0,03	0,015	5,00**
	Error exp.	18	0,05	0,003	
	Total	23	1,27		

Elemento	Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
Na	A	.	0,0000034	0,0000034	2,420
	B	2	0,0000004	0,0000002	0,001
	AB	2	0,0000029	0,0000014	0,008
	Error exp.	18	0,0031700	0,0001760	
	Total	23	0,0031767		
Fe	A	.	2816,600	2816,600	22,85**
	B	2	1018,720	509,360	4,13**
	Error exp.	20	2464,700	123,823	
	Total	23	6300,020		
Mn	A	.	110026,042	110026,042	9,86*
	B	2	24627,084	12313,542	6,63***
	AB	2	22327,083	11163,541	6,01***
	Error Exp.	18	33443,750	1857,986	
	Total	23	190423,959		
Zn	A	.	48151,100	48151,100	3,19
	B	2	40652,100	20326,050	16,14***
	AB	2	30202,000	15101,000	11,99***
	Error exp.	18	22668,800	1259,400	
	Total	23	141674,000		

Analisis foliar. Parte aerea. (Modelo Jerarquico simple)

Elemento	Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
	c	6	7,479	1,246	31,64***
	Error exp.	21	0,827	0,039	
	Total	27	8,306		
	c	6	1,190	0,198	28,28***
	Error exp.	21	0,151	0,007	
	Total	27	1,341		
S(SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	c	6	0,387	0,065	32,50***
	Error exp.	21	0,043	0,002	
	Total	27	0,430		
	c	6	0,558	0,158	185,00***
	Error exp.	21	0,030	0,001	
	Total	27	0,588		
	c	6	47,570	7,928	83,45***
	Error exp.	21	2,000	0,095	
	Total	27	49,570		

Elemento	Fuente de variacion	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
Ca	C	6	0,650	0,108	54,00***
	Error exp.	21	0,050	0,002	
	Total	27	0,700		
Mg	C	6	1,550	0,258	129,00***
	Error exp.	21	0,050	0,002	
	Total	27	1,600		
Na	C	6	0,00001100	0,00000180	6,54***
	Error exp.	21	0,00000600	0,00000028	
	Total	27	0,00001700		
Fe	C	6	4071,500	678,583	5,82***
	Error exp.	21	2450,000	116,666	
	Total	27	6521,500		
Mn	C	6	169237,500	28206,250	16,77***
	Error exp.	21	35312,500	1681,547	
	Total	27	204550,000		
Zn	C	6	126673,220	21112,203	19,20***
	Error exp.	21	23093,750	1099,702	
	Total	27	149766,970		

Análisis foliar. 5ª hoja.

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	r
	C	3	0,291	0,097	32,33***
	Error exp.	28	0,064	0,003	
	Total	31	0,3555		
	C	3	16,417	5,472	19,13***
	Error exp.	28	8,026	0,286	
	Total	31	24,443		
Ca	C	3	1,677	0,559	279,50***
	Error exp.	28	0,046	0,002	
	Total	31	1,723		
Mg	C	3	6,109	2,036	37,02
	Error exp.	28	1,551	0,055	
	Total	31	7,660		
Na	C	3	0,000010	0,000003	0,01
	Error exp.	28	0,006256	0,000223	
	Total	31	0,006266		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Fe	C	3	11446,094	3815,365	11,68***
	Error exp.	28	9143,875	326,567	
	Total	31	20589,969		
Mn	C	3	24337,500	8112,500	14,11***
	Error exp.	28	16099,000	574,964	
	Total	31	40436,500		
Zn	C	3	2575,000	858,333	3,17**
	Error exp.	28	7574,000	270,500	
	Total	31	10149,000		

Análisis foliar.Raiz.

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
	C	3	0,466	0,155	2,68*
	Error exp.	28	1,644	0,058	
	Total	31	2,110		
	C	3	18,441	6,147	21,64***
	Error exp.	28	7,956	0,284	
	Total	31	26,397		
	C	3	1,917	0,639	2,84*
	Error exp.	28	6,313	0,225	
	Total	31	8,230		
Ca	C	3	1,207	0,402	23,66***
	Error exp.	28	0,465	0,017	
	Total	31	1,672		
Mg	C	3	1,922	0,647	49,28***
	Error exp.	28	0,376	0,013	
	Total	31	2,298		



Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Na	C	3	0,0031800	0,0010600	15,75***
	Error exp.	28	0,0018800	0,0000673	
	Total	31	0,0050600		
Fe	C	3	3726250,000	1242083,333	4,69***
	Error exp.	28	7407500,000	264553,571	
	Total	31	11133750,000		
Mn	C	3	160265,625	53421,875	1,82
	Error exp.	28	818431,250	29229,687	
	Total	31	978696,875		
Zn	C	3	73584,375	24528,125	0,58
	Error exp.	28	1179538,750	42126,384	
	Total	31	1253123,125		

Analisis de savia.Planta entera. (Modelo Factorial mixto)

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	A	1	708984,38	708984,38	60,00**
	B	2	41302,08	20651,04	9,79***
	AB	2	23593,75	11796,87	5,59**
	Error exp.	18	37968,75	2109,37	
	Total	23	811848,96		
Nam.	A	1	41500,17	41500,17	2,46
	B	2	11755,59	5877,79	3,86**
	AB	2	33673,00	16836,50	11,06***
	Error exp.	18	27411,00	1522,80	
	Total	23	114339,76		
Np.	A	1	4510,05	4510,05	2,04
	B	2	2993,25	1496,62	8,48***
	AB	2	4424,08	2212,04	12,54***
	Error exp.	18	3175,25	176,40	
	Total	23	15102,63		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
$N(NH_4^+)$	A	1	19380,17	19380,17	42,82***
	B	2	36,75	18,37	0,15
	AB	2	905,08	452,54	3,74*
	Error exp.	18	2176,00	120,88	
	Total	23	22498,00		
$P(PO_4H_2^-)$	A	1	70850,70	70850,70	90,52**
	B	2	3696,65	1848,32	2,01
	AB	2	1565,45	782,72	0,85
	Error exp.	18	16548,00	919,33	
	Total	23	92660,80		
Pp.	A	1	1520,04	1520,04	0,99
	B	2	21468,08	10734,04	16,27***
	AB	2	3044,09	1522,04	2,30
	Error exp.	18	11876,75	659,82	
	Total	23	37908,96		
Azucares	A	1	561875625,00	561875625,00	30,20**
	B	2	4321625,00	2160812,50	2,73*
	AB	2	37212125,00	18606062,50	23,53***
	Error exp.	18	14230625,00	7905902,20	
	Total	23	617640000,00		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
	A	1	1318359,40	1318359,40	29,61**
	B	2	205711,10	102855,55	67,16***
	AB	2	88742,20	44371,10	28,97***
	Error exp.	18	27566,30	1531,46	
	Total	23	1640379,00		
Mg	A	1	360395,04	360395,04	958,06***
	B	2	57401,33	28700,66	6,15**
	AB	2	752,30	376,17	0,08
	Error exp.	18	84004,25	4666,90	
	Total	23	502552,92		

Análisis de savia.Planta entera. (Modelo Jerarquico simple).

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	C	6	811830,45	135305,07	63,36***
	Error exp.	21	44843,75	2135,41	
	Total	27	856674,20		
Nam.	C	6	101230,00	16871,66	11,04***
	Error exp.	21	32102,00	1528,66	
	Total	27	133332,00		
Np	C	6	12101,50	2016,92	12,14***
	Error exp.	21	3490,00	166,19	
	Total	27	15591,50		
N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	C	6	20632,00	3438,66	25,47***
	Error exp.	21	2835,00	135,00	
	Total	27	23467,00		
P(PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	C	6	93560,00	15593,33	17,41***
	Error exp.	21	18800,00	895,23	
	Total	27	112360,00		
Pp.	C	6	26186,50	4364,41	7,36***
	Error exp.	21	12447,50	592,73	
	Total	27	38634,00		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Azucares	C	6	626940714,00	104490119,10	136,77**
	Error exp.	21	16043125,00	763958,33	
	Total	27	642983840,00		
	C	6	3875982,00	645997,00	97,11**
	Error exp.	21	139699,00	6652,33	
	Total	27	4015681,00		
Mg	C	6	494623,88	82437,30	19,46**
	Error exp.	21	88938,30	4235,15	
	Total	27	583562,10		

EXPERIMENTO DE MAIZ CON NaCl.

Analisis foliar. Parte aerea. (Modelo Factorial mixto).

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
A	.		0,003	0,003	0,05
B	2		0,026	0,013	0,18
AB	2		0,114	0,057	0,78
Error exp.	24		1,774	0,007	
Total	29		1,917		
A	.		0,029	0,029	1,93
B	2		0,049	0,025	12,50***
AB	2		0,031	0,015	7,50***
Error exp.	24		0,037	0,002	
Total	29		0,146		
A	.		12,161	12,161	181,66***
B	2		1,201	0,600	16,21***
AB	2		0,240	0,120	3,16
Error exp.	24		0,908	0,037	
Total	29		14,580		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	<i>r</i>
Ca	A	1	0,073	0,073	29,20**
	B	2	0,002	0,001	5,00***
	AB	2	0,005	0,0025	12,50***
	Error exp.	24	0,004	0,0002	
	Total	29	0,084		
Mg	A	1	0,027	0,027	4,50
	B	2	0,005	0,0025	12,50***
	AB	2	0,012	0,006	30,00***
	Error exp.	24	0,004	0,0002	
	Total	29	0,048		
Na	A	1	2,208	2,208	7,12
	B	2	0,611	0,305	25,41***
	AB	2	0,621	0,310	25,83**
	Error exp.	24	0,293	0,012	
	Total	29	3,733		
Cl <sup>-</sup>	A	1	2,611	2,611	13,39*
	B	2	0,401	0,201	16,75***
	AB	2	0,39 <sup>0</sup>	0,195	16,25***
	Error exp.	24	0,300	0,012	
	Total	29	3,702		



Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Fe	A	1	100,830	100,830	0,14
	B	2	201,670	100,835	0,10
	AB	2	1461,670	730,835	0,71
	Error exp.	24	24715,000	1029,791	
	Total	29	26479,170		
Mn	A	1	9363,334	9363,334	10,97*
	B	2	3086,667	1543,333	3,28*
	AB	2	1706,666	853,333	1,81
	Error exp.	24	11290,000	470,416	
	Total	29	25443,667		
Zn	A	1	1333,370	1333,370	17,59
	B	2	3932,000	1966,000	11,42**
	AB	2	151,630	75,815	0,44
	Error exp.	24	4130,000	172,083	
	Total	29	9547,000		

Analisis foliar. Parte aerea. (Modelo Jerarquico simple).

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
	C	6	0,550	0,093	1,45
	Error exp.	28	1,784	0,064	
	Total	34	2,334		
	C	6	0,114	0,019	13,57***
	Error exp.	28	0,039	0,0014	
	Total	34	0,153		
	C	6	13,779	2,296	65,60***
	Error exp.	28	0,978	0,035	
	Total	34	14,757		
Ca	C	6	0,081	0,01350	9,64***
	Error exp.	28	0,004	0,00014	
	Total	34	0,085		
Mg	C	6	0,049	0,0080	4,44***
	Error exp.	28	0,005	0,0018	
	Total	34	0,054		
Na	C	6	3,768	0,628	62,80***
	Error exp.	28	0,293	0,010	
	Total	34	4,061		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	$r$
Cl	C	6	3,792	0,632	57,45***
	Error exp.	28	0,303	0,011	
	Total	34	4,095		
Fe	C	6	2507,143	417,857	0,46
	Error exp.	28	25085,000	895,892	
	Total	34	27592,143		
Mn	C	6	15650,000	2608,333	6,12***
	Error exp.	28	11940,000	426,428	
	Total	34	27590,000		
Zn	C	6	5554,286	925,714	5,87***
	Error exp.	28	4410,000	157,500	
	Total	34	9964,286		

Análisis foliar. 5ª hoja.

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Ca	C	3	0,094	0,031	15,50***
	Error exp.	36	0,675	0,002	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>0,769</u>		
	C	3	0,410	0,137	0,45
	Error exp.	36	10,830	0,300	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>11,240</u>		
	C	3	0,173	0,058	7,25***
	Error exp.	36	0,276	0,008	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>0,449</u>		
Mg	C	3	0,118	0,039	3,54***
	Error exp.	36	0,406	0,011	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>0,524</u>		
Na	C	3	1,058	0,353	20,76***
	Error exp.	36	0,621	0,017	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>1,679</u>		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
P <sub>B</sub>	C	5	1075,675	358,558	0,74
	Error exp.	36	17470,100	485,280	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>18545,775</u>		
	C	5	73187,500	24395,833	2,60*
	Error exp.	36	337602,000	9377,833	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>410789,500</u>		
Zn	C	5	16491,875	5497,291	14,42***
	Error exp.	36	13720,500	381,125	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>30212,375</u>		

Analisis foliar.Raiz.

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
	C	3	0,065	0,021	0,26
	Error exp.	36	3,009	0,083	
	Total	39	3,074		
	C	3	0,740	0,246	18,92***
	Error exp.	36	0,458	0,013	
	Total	39	1,198		
	C	3	34,532	11,107	42,88***
	Error exp.	36	9,325	0,259	
	Total	39	43,857		
Ca	C	3	0,443	0,148	4,62***
	Error exp.	36	1,170	0,032	
	Total	39	1,613		
Mg	C	3	0,010	0,003	0,13
	Error exp.	36	0,815	0,023	
	Total	39	0,825		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	r
Na	C	3	45,630	15,210	142,15***
	Error exp.	36	3,860	0,107	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>49,490</u>		
Fe	C	3	2049187,500	683063,500	4,59***
	Error exp.	36	5354250,000	148729,166	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>7403437,500</u>		
Mn	C	3	184535,000	61511,666	5,49***
	Error exp.	36	403388,000	11205,222	
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>587923,000</u>		
Zn	C	3	1851,875	617,292	0,22
	Error exp.	36	100790,500		
	<u>Total</u>	<u>39</u>	<u>102642,375</u>		

Analisis de savia. Planta entera. (Modelo Factorial mixto).

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	-
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	A	.	285187,50	285187,50	8,16 <sup>†</sup>
	B	2	13625,00	6812,50	1,62
	AB	2	69875,00	34937,50	8,31***
	Error exp.	24	100875,00	4203,12	
	Total	29	469562,50		
Nam.	A	.	40627,20	40627,20	11,63
	B	2	42936,20	21468,10	15,71***
	AB	2	6986,60	3493,30	2,65*
	Error exp.	24	32786,00	1366,08	
	Total	29	123336,00		
Np.	A	.	3080,53	3080,53	3,72
	B	2	1536,27	768,13	4,68**
	AB	2	1655,47	827,63	5,05**
	Error exp.	24	3934,60	163,94	
	Total	29	10206,87		
N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	A	.	12,04	12,04	0,002
	B	2	2321,67	1160,83	2,12
	AB	2	9896,46	4948,23	9,05***
	Error exp.	24	13125,20	546,88	
	Total	29	25355,37		



Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
P( $\text{PO}_4\text{H}_2^-$ )	A		14963,37	14963,37	3,20
	B	2	28774,90	14387,45	57,99***
	AB	2	9336,83	4668,41	18,82***
	Error exp.	24	5953,40	248,06	
	Total	29	59028,50		
Pp.	A	.	145,20	145,20	0,07
	B	2	2310,47	1155,23	3,86**
	AB	2	4087,80	2043,90	6,84***
	Error exp.	24	7174,00	298,91	
	Total	29	13717,47		
azucares	A		6075000,00	6075000,00	1,87
	B	2	8466666,70	4233333,35	133,24***
	AB	2	6650000,00	3325000,00	104,65***
	Error exp.	24	762500,00	31770,83	
	Total	29	21954166,70		
	A		13838041,50	13838041,50	10,34*
	B	2	5819812,50	2909906,25	9,44***
	AB	2	2676021,00	1338010,50	4,34**
	Error exp.	24	7396250,00	308177,08	
	Total	29	29730125,00		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	
Mg	A		44930,70	44930,70	19,44
	B	2	27175,20	13587,60	21,73***
	AB	2	4623,20	2311,60	3,69**
	Error exp.	<u>24</u>	<u>15005,60</u>	625,23	
	Total	29	91734,70		
Na	A		735080,53	735080,53	6,15
	B	2	174679,40	87339,70	32,37***
	AB	2	239022,07	119511,03	44,30***
	Error exp.	<u>24</u>	<u>64748,80</u>	2697,87	
	Total	29	1213530,80		

Analisis de savia. Planta entera. (Modelo Jerarquico simple)

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
N(NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	C	6	610429,00	101738,16	26,78***
	Error exp.	28	106375,00	3799,11	
	Total	34	716804,00		
Nam.	C	6	17455,12	29091,68	22,53***
	Error exp.	28	36156,05	1291,28	
	Total	34	53611,17		
Np.	C	6	10958,40	1826,40	11,21***
	Error exp.	28	4558,61	162,80	
	Total	34	15517,01		
N(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	C	6	21286,06	3547,67	6,31***
	Error exp.	28	15750,20	562,51	
	Total	34	37036,26		
P(PO <sub>4</sub> H <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	C	6	102829,30	17138,21	16,03***
	Error exp.	28	29935,61	1069,13	
	Total	34	132774,91		
Pp.	C	6	17661,52	2943,58	8,37***
	Error exp.	28	9839,20	351,40	
	Total	34	27500,72		

Elemento	Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F
Azucares	C	6	21996429,00	3666071,50	71,41***
	Error exp.	28	1437500,00	51339,29	
	Total	34	23433929,00		
	C	6	23283946,50	3880657,75	12,55***
	Error exp.	28	8656250,00	309151,78	
	Total	34	31940196,50		
Mg	C	6	78637,14	13106,19	20,84***
	Error exp.	28	17605,60	628,77	
	Total	34	96242,74		
Na	C	6	1262369,88	210394,98	90,09***
	Error exp.	28	65386,80	2335,24	
	Total	34	1327756,68		

UNIVERSIDAD  
AUTONOMA DE  
MADRID  
BIBLIOTECA  
CIENCIAS